

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

VIZUALIZACIJA UŽEG PODRUČJA CRPILIŠTA VELIKA GORICA IZRADOM 3D
HIDROGEOLOŠKOG MODELA

Diplomski rad

Barbara Genzić

GI – 221

Zagreb, 2017.

U ovome trenutku, dok čekam obranu svog diplomskog rada, više nego ikada do sad, shvaćam da mi je najviše užitka pružao uspon na planinu, a ne osvajanje njezinog vrha. Zato bih se ovom prigodom željela zahvaliti svima, obitelji i prijateljima, koji su svojom podrškom, društvom te prijateljskim razgovorima učinili taj uspon tako posebnim.

Zahvalila bih se svojoj mentorici, doc. dr. sc. Jeleni Parlov, na vodstvu i podršci. Njezino stručno znanje, vještine i pristupačnost bili su mi od velike pomoći u izradi ovoga rada.

Također se zahvaljujem svojim komentorima, doc. dr. sc. Dariu Perkoviću i izv. prof. dr. sc. Kristijanu Posavcu, koji su uvijek bili dostupni za rasprave, pružanje dobrih savjeta te pomoć kod revidiranja rada.

VIZUALIZACIJA UŽEG PODRUČJA CRPILIŠTA VELIKA GORICA IZRADOM 3D HIDROGEOLOŠKOG MODELA

BARBARA GENZIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Vodocrpilište Velika Gorica dio je zagrebačkog vodonosnika koji je otvorenog tipa. Proteže se na površini od 1,5 km². Omeđeno je cestom Zagreb–Sisak na sjeveru, željezničkom prugom Zagreb–Sisak na jugu i zapadu te industrijskim kolosijekom na istoku. Crpilište se sastoji od 5 bušenih zdenaca, a s radom je počelo 1987. godine. U svrhu definiranja hidrogeoloških značajki područja crpilišta provedena je obrada podataka. Obradeni su podaci o bušenju (građa podzemlja) i razinama podzemne vode, iz čega su odgovarajućim metodama izračunate vrijednosti, primjerice hidrauličke vodljivosti, debljine saturacije te utvrđeni smjerovi toka podzemne vode. Rezultati rada prikazani su nizom tablica, karata te trodimenzionalnim modelom podzemlja.

Ključne riječi: vodocrpilište, Velika Gorica, zagrebački vodonosnik, hidrogeološke značajke, ekvipotencijale, 3D hidrogeološki model

Diplomski rad sadrži: 44 stranice, 21 slika, 9 tablica, 5 priloga i 18 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mentor: Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Doc. dr. sc. Dario Perković

Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec

Datum obrane: 17. veljače, 2017. godine

**A VISUALIZATION OF VELIKA GORICA WELLFIELD'S IMMEDIATE AREA
CONSTRUCTED USING A 3D HYDROGEOLOGICAL MODEL**

BARBARA GENZIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

Velika Gorica wellfield is a part of the Zagreb aquifer which is unconfined in its nature. Its surface area spreads for 1.5 km². It is bound by the Zagreb-Sisak road to the north, the Zagreb-Sisak railway to the south and an industrial spur to the east. The wellfield consists of 5 drilled wells and has been operational since 1987. For the purpose of defining hydrogeological properties of the area, a data analysis was conducted. Drilling data (underground structure) and groundwater levels were analyzed and using appropriate methods further utilized to calculate values such as hydraulic conductivity and direction of groundwater flow. The results are displayed in a number of tables, maps and a three-dimensional underground model.

Keywords: wellfield, Velika Gorica, Zagreb aquifer, hydrogeological properties, equipotential lines, 3D hydrogeological model

Thesis contains: 44 pages, 21 figures, 9 tables, 5 appendices and 18 references

Original in: Croatian

Thesis stored at: The Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Reviewers: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD
Assistant Professor Dario Perković, PhD
Associate Professor Kristijan Posavec

Date of defense: February 17, 2017

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	2
2.1. Geografske značajke istraživnog područja.....	2
2.2. Geološke značajke istraživnog područja	2
2.3. Hidrogeološke značajke istraživnog područja	4
3. MATERIJALI I METODE RADA	6
3.1. Prikupljanje i organizacija podataka	6
3.2. Obrada podataka	8
3.2.1. Određivanje podine vodonosnog sloja	8
3.2.2. Određivanje hidrauličke vodljivosti prvog vodonosnog sloja.....	12
3.2.3. Određivanje najnižih i najviših razina podzemne vode.....	19
3.2.4. Određivanje niskih i visokih voda	21
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	23
4.1. Karte ekvipotencijala	23
4.2. Karta izostrata podine prvog vodonosnog sloja.....	29
4.3. Karte izopaha saturiranih debljina	30
4.4. Karte smjerova toka	32
4.5. 3D hidrogeološki model podzemlja	34
5. DISKUSIJA.....	39
6. ZAKLJUČAK	41
7. LITERATURA.....	42
PRILOZI	

POPIS SLIKA

<i>Slika 2.1.</i> Prostorni smještaj crpilišta Velika Gorica	2
<i>Slika 2.2.</i> Geološka karta grada Zagreba i Zagrebačke županije (Bačani i Šparica, 2001) ...	3
<i>Slika 2.3.</i> Trodimenzionalni model zagrebačkog vodonosnog sustava (Bačani i Posavec, 2009)	4
<i>Slika 3.1.</i> Primjer strukturiranih podataka u EGPV bazi za pojedini hidrogeološki objekt ..	7
<i>Slika 3.2.</i> Organizacija podataka u GIS projektu	8
<i>Slika 3.3.</i> Lokacije piezometara i zdenaca korištenih za izradu karte izostrata podine prvog vodonosnog sloja	11
<i>Slika 4.1.</i> Prikaz konstruiranja poligona oko točke (Kennedy, 2009)	24
<i>Slika 4.2.</i> Karta najniže zabilježenih razina podzemne vode (2000. – 2014. godine)	25
<i>Slika 4.3.</i> Karta najviših zabilježenih razina podzemne vode (2000. – 2014. godine)	25
<i>Slika 4.4.</i> Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (<i>Natural Neighbor</i> metoda)	26
<i>Slika 4.5.</i> Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (<i>IDW</i> metoda)	26
<i>Slika 4.6.</i> Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (<i>Kriging</i> metoda) ...	27
<i>Slika 4.7.</i> Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (<i>Spline</i> metoda)	27
<i>Slika 4.8.</i> Karta ekvipotencijala visokih voda na dan 27.2.2014. godine	28
<i>Slika 4.9.</i> Karta izostrata podine prvog vodonosnog sloja	29
<i>Slika 4.10.</i> Karta rastera podine prvog vodonosnog sloja	30
<i>Slika 4.11.</i> Karta izopaha prvog vodonosnog sloja u vrijeme niskih voda	31
<i>Slika 4.12.</i> Karta izopaha prvog vodonosnog sloja u vrijeme visokih voda	31
<i>Slika 4.13.</i> Karta ekvipotencijala niskih voda (9.4.2012. godine) s naznačenim smjerovima i magnitudama toka	33
<i>Slika 4.14.</i> Karta ekvipotencijala visokih voda (27.2.2014. godine) s naznačenim smjerovima i magnitudama toka	33
<i>Slika 4.15.</i> Tumač oznaka rastera prikazanih u 3D hidrogeološkom modelu	35
<i>Slika 4.16.</i> 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled s istoka/odozgo (zelena strijelica – znak sjevera)	36
<i>Slika 4.17.</i> 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled s jugozapada/odozgo (zelena strijelica – znak sjevera)	36
<i>Slika 4.18.</i> 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa zapada (zelena strijelica – znak sjevera)	37
<i>Slika 4.19.</i> 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa sjevera/odozdo (zelena strijelica – znak sjevera)	37
<i>Slika 4.20.</i> 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa sjeveroistoka/odozgo (zelena strijelica – znak sjevera)	38
<i>Slika 4.21.</i> 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa sjevera/odozgo (zelena strijelica – znak sjevera)	38

POPIS TABLICA

<i>Tablica 2.1.</i> Tehnički podaci o zdencima crpilišta Velika Gorica i hidrogeološkim značajkama vodonosnika	5
<i>Tablica 3.1.</i> Tehnički podaci i litološki opis strukturno-piezometarskih bušotina i zdenaca na istraživanom području.....	10
<i>Tablica 3.2.</i> Podaci o položaju podine korišteni za izradu karte izostrata	11
<i>Tablica 3.3.</i> Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-1	14
<i>Tablica 3.4.</i> Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-2.....	15
<i>Tablica 3.5.</i> Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-7.....	16
<i>Tablica 3.6.</i> Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-8.....	17
<i>Tablica 5.1.</i> Usporedan prikaz hidrauličkih vodljivosti određenih u zdencima pokusnim crpljenjem i pripadnim strukturno-piezometarskim bušotinama na temelju granulometrijskog sastava naslaga	40
<i>Tablica 5.2.</i> Rasponi hidrauličkih vodljivosti za nekonsolidirane sedimente (Fetter, 2000)	40

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Presjeci zdenaca B-2 i B-4
Prilog 2. Presjeci bušotina B-5 i ČP-2
Prilog 3. Presjeci bušotina S-7 i S-8
Prilog 4. Presjeci bušotina SP-1 i SP-2
Prilog 5. Presjek bušotina VG-10

1. UVOD

Crpilište Velika Gorica zahvaća podzemnu vodu iz zagrebačkog vodonosnika koji predstavlja vrlo važan izvor zaliha pitke vode za grad Zagreb i Republiku Hrvatsku prema Strategiji upravljanja vodama (NN, 91/08). Vodonosnik se nalazi u aluvijalnoj nizini rijeke Save i prostire se u smjeru sjeverozapad – jugoistok. Radovi na vodocrpilištu započeli su 1968. kada je izbušen prvi zdenac te četiri strukturno-piezometarske i deset piezometarskih bušotina. Tijekom godina, ukupne crpne količine su povećane izradom dodatna četiri zdenca.

Cilj ovog rada je primjenom relevantnih znanstvenih i stručnih metoda prikupiti i sustavno obraditi istraživanja i mjerenja provedena u posljednjih 30-tak godina na području crpilišta Velika Gorica u svrhu boljeg razumijevanja njegovih hidrogeoloških značajki.

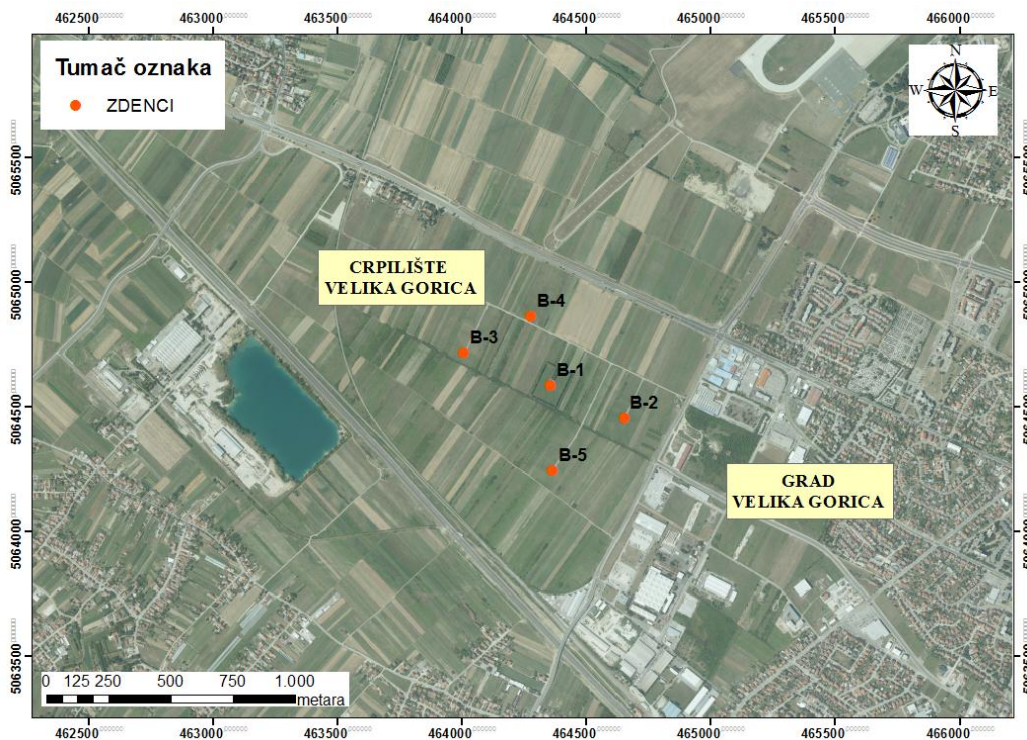
Tijekom izrade rada, pregledani su svi dosadašnji radovi, sustavno organizirani i obrađeni podaci zabilježeni na piezometrima, zdencima i strukturno-piezometarskim bušotinama. Obrada podataka provedena je s ciljem definiranja hidrogeoloških značajki područja crpilišta. Obradeni su podaci o bušenju (građa podzemlja) i razinama podzemne vode, iz čega su odgovarajućim metodama izračunate vrijednosti, primjerice hidrauličke vodljivosti, debljine saturacije te određeni smjerovi toka podzemne vode.

Rezultati obrade podataka prikazani su pomoću niza tablica, karata i u konačnici trodimenzionalnog modela podzemlja s ciljem lakšeg razumijevanja značajki prirodnog sustava

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Geografske značajke istraživanog područja

Crpilište Velika Gorica smješteno je zapadno od grada Velika Gorica, a služi za vodoopskrbu Velike Gorice i Grada Zagreba. Omeđeno je cestom Zagreb–Sisak na sjeveru, željezničkom prugom Zagreb–Sisak na jugu i zapadu te industrijskim kolosijekom na istoku zauzimajući površinu od 1,5 km² (Slika 2.1.). Crpilište se sastoji od 5 bušenih zdenaca, a s radom je započelo 1987. godine.



Slika 2.1. Prostorni smještaj crpilišta Velika Gorica

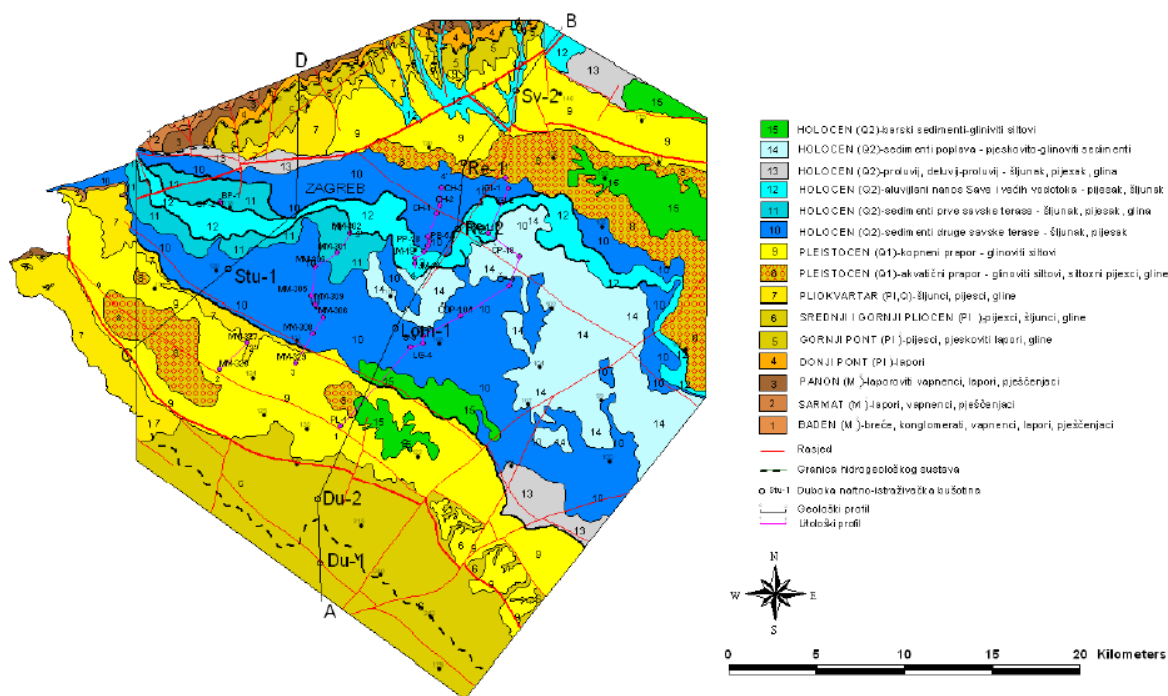
2.2. Geološke značajke istraživanog područja

Crpilište Velika Gorica crpi vodu iz zagrebačkog vodonosnika koji se nalazi u aluvijalnoj ravnici rijeke Save, pružanja je sjeverozapad – jugoistok, a proteže se od Bregane do Rugvice. Na sjeveru je omeđen Medvednicom, na sjeverozapadu

Žumberačkim gorjem te Vukomeričkim goricama s južne strane. Izgrađen je od kvartarnih sedimenata koje čine srednjo- i gornjopleistocenske te holocenske taložine (Slika 2.2.). Debljina naslaga raste s padom intenziteta toka rijeke Save zbog čega su debljine na zapadu oko 10 m, a na istočnom dijelu dosežu i do 100 m (Slika 2.3.).

Prije prodora rijeke Save, na području zagrebačkog vodonosnika, tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena, prevladavali su jezerski i močvarni uvjeti taloženja. Sediment je erodiran s okolnog gorja (Medvednica, Marijagorička brda i Žumberačko gorje) te transportiran do jezera i močvara u nizini površinskim tokovima (Velić i Saftić, 1991). Takvi taložni uvjeti rezultirali su vodonosnim slojem siliciklastičnog sastava.

U holocenu dolazi do klimatskih i tektonskih promjena, koje su omogućile prodor rijeke Save (Velić i Durn, 1993). Rijeka Sava transportira materijal s područja Alpa pa je intenzitet, uslijed izmjene glacijala i interglacijala, promjenjivog karaktera. Posljedica ovakvih uvjeta taloženja je vodonosni sloj, dominantno karbonatnog sastava, s dobro zaobljenim valuticama srednjezrnatog i krupnozrnatog šljunka (Velić i Saftić, 1991). Potonji se naziva prvim vodonosnim slojem zagrebačkog vodonosnog sustava, a drugi vodonosni sloj čine jezersko-barske naslage. Podinu vodonosnog sustava čine slabo propusne naslage (Posavec, 2006).

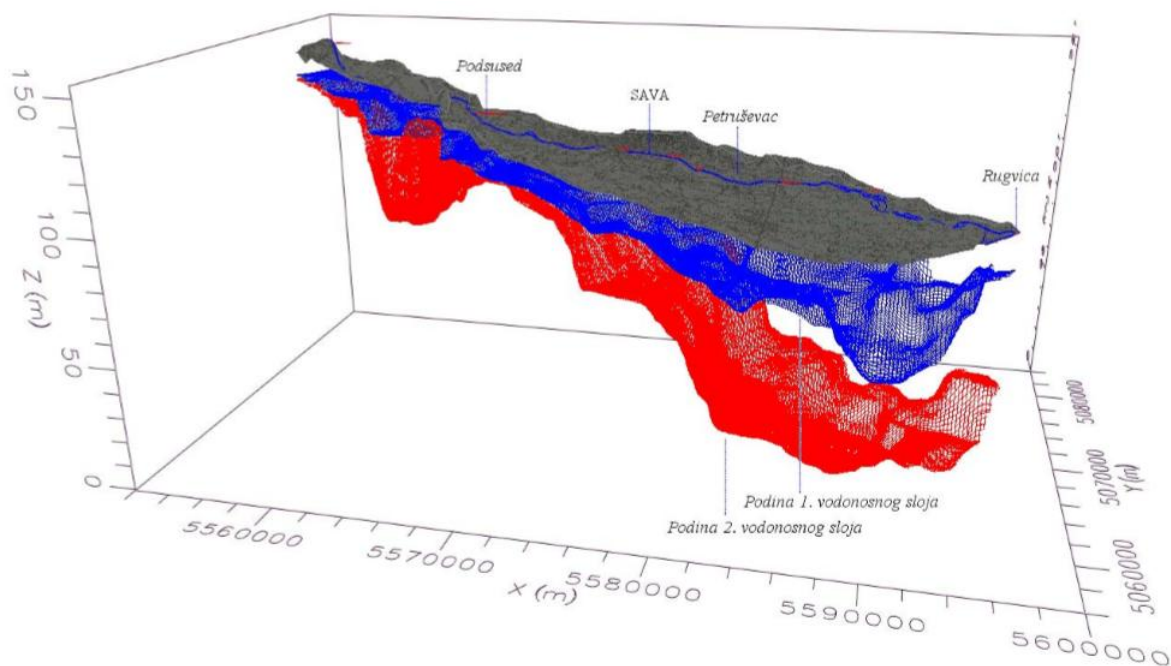


Slika 2.2. Geološka karta grada Zagreba i Zagrebačke županije (Bačani i Šparica, 2001)

2.3. Hidrogeološke značajke istraživanog područja

Zagrebački vodonosnik je vodonosnik otvorenog tipa, što znači da mu je podina nepropusna, a gornju granicu saturacije čini vodna ploha koja je pod atmosferskim tlakom. U hidrauličkom smislu razlikujemo granice dotjecanja na zapadnom i južnom rubnom dijelu vodonosnika, sjevernu granicu koja je nepropusna te istočnu koja je definirana kao granica otjecanja. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku odnosno jugoistoku. Zbog hidrauličke povezanosti vodonosnika i rijeke Save, za vrijeme visokih vodostaja Sava napaja vodonosnik, dok za vrijeme niskih i srednjih vodostaja na pojedinim dijelovima toka dolazi do dreniranja vodonosnika. Dreniranje vodonosnika utječe na sniženje razine podzemne vode što pak nepovoljno utječe na raspoložive količine vode za vrijeme dužih sušnih razdoblja (Posavec, 2006).

Napajanje vodonosnika se u najvećoj mjeri ostvaruje: (1) infiltracijom iz rijeke Save; (2) infiltracijom oborina; (3) infiltracijom iz propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže; (4) dotjecanjem po zapadnoj granici iz susjednog samoborskog vodonosnika; te (5) dotjecanjem po južnoj granici vodonosnika s područja Vukomeričkih Gorica (Posavec, 2006).



Slika 2.3. Trodimenzionalni model zagrebačkog vodonosnog sustava (Bačani i Posavec, 2009)

Crpilište Velika Gorica sastoji se od pet zdenaca dubine od 39 m do 50 m čime je zahvaćen prvi vodonosni sloj zagrebačkog vodonosnog sustava, odnosno aluvijalni šljunčano-pjeskoviti vodonosni sloj, koji je bušenjem ustanovljen na dubinskom intervalu od približno 4 do 44 metra (Tablica 2.1.). Vodonosni horizont je izgrađen od sitnozrnog do krupnozrnog šljunka s većim udjelom krupnozrnog pijeska. U krovini je prašinasta, polupropusna glina dok je podina nejednoliko razvijena zbog čega je u zdencima B-2, B-4 i B-5 nabušena glina (Prilog 1 i Prilog 2), dok u ostalim zdencima podina nije nabušena (Bačani i Posavec, 2009).

Pri izradi zdenaca, terenskom metodom pokusnog crpljenja dobiveni su hidrogeološki parametri (Geofizika, 1982, 1986) od kojih je za potrebe izrade ovog rada najinteresantnija, hidraulička vodljivost. Njene vrijednosti određene su dijeljenjem transmisivnosti s debljinom vodonosnog sloja, a prikazane su u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Tehnički podaci o zdencima crpilišta Velika Gorica i hidrogeološkim značajkama vodonosnika

Oznaka zdenca	X	Y	Z (m n. m.)	Dubina bušenja (m)	Interval filtra (m)
B-1	464354,6	5064589	107	39	12,24 - 32,24
B-2	464653,1	5064462	107	50	12,80 - 49,80
B-3	464005,2	5064716	107	50	18,00 - 46,00
B-4	464275,2	5064868	108	48	38,00 - 42,00
					25,00 - 33,00
					12,00 - 22,00
B-5	464364,1	5064252	107	49	26,00 - 42,00
					13,00 - 23,00
	Transmisivnost (m ² /s)		Debljina vodonosnog sloja (m)		Hidraulička vodljivost, K (m/s)
B-1	/		/		/
B-2	0,608		41,0		1,48 × 10 ⁻²
B-3	0,366		47,5		7,7 × 10 ⁻³
B-4	0,763		41,3		1,85 × 10 ⁻²
B-5	1,148		39,4		2,91 × 10 ⁻²

3. MATERIJALI I METODE RADA

3.1. Prikupljanje i organizacija podataka

Za potrebe izrade ovog rada korišteni su elaborati iz arhive velikogoričkog crpilišta. Kao najvažnije potrebno je istaknuti zapise o vodoistražnim i vodozahvatnim radovima iz 1982. godine i 1986. godine (Geofizika, 1982, 1986). U tim radovima nalaze se podaci o istražnim bušenjima piezometara i zdenaca, pokusnim crpljenjima i geofizičkim istraživanjima. Za potrebe ovog rada korišteni su podaci o determinaciji jezgri svih izvedenih bušotina i granulometrijskim analizama uzoraka iz bušotina.


Osim toga, prikupljeni su i podaci o naknadno izvedenim bušotinama iz hidrogeološke baze Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta (EGPV, 1999). Baza sadržava sve poznate i strukturirane podatke o pojedinom objektu (Slika 3.1.).

Prikupljeni su i podaci o mjerenjima razina podzemne vode od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda i Vodoopskrbe i odvodnje d.o.o. za razdoblje od 2000. do 2014. godine s 19 piezometara.

Svi prikupljeni podaci za potrebe izrade ovog rada sistematizirani su na način prikladan za izradu GIS projekta u modulu ArcMap, softvera ArcGIS for Desktop®. Kao podloga u projektu korištena je digitalna ortofoto karta učitana s geoportala Državne geodetske uprave (<http://www.geoportal.dgu.hr/>). Radi ograničenja područja istraživanja kreirana je poligonska tema i omeđeno je područje velikogoričkog vodocrpilišta koje se približno podudara s granicom druge zone sanitarne zaštite (Bačani i Posavec, 2009).

Svi piezometri, na istraživanom području i izvan njega, u kojima je mjerena razina podzemne vode uneseni su u GIS projekt kao točkasta tema. U atributnoj tablici kreirana su polja s X i Y koordinatama (HTRS96 Croatia TM), oznakom objekta te podacima o kotama terena, kotama „0“ i dnu filtra (Slika 3.2.).

Na isti način kreirana je točkasta tema s podacima strukturno piezometarskih bušotina i zdenaca u kojima je nabušena podina prvog vodonosnog sloja. Atributna tablica ove teme sadrži podatke s koordinatama i oznakama objekata te dubinama podine.



Šifra objekta: **ZG-3-P-131** Vrsta objekta: **LIMNIGRAF**

EGPV: **1520** Oznaka u elaboratu: **VG-10**

Šifra karte: **ZG-3**

Šifra DHMZ: **5243**

Geografski i administrativni podaci

X (geodetski): **5063924,710**

Y (geodetski): **5581769,53**

Z (geodetski): **107** Kota "0": **107.90**

Naselje: **Velika Gorica**

Općina: **Velika Gorica**

Županija: **ZAGREBAČKA**

Lokalitet:

Vlasnik:

Izvođač:

Datum izrade:

Namjena:

Ostali podaci

Dubina bušenja: **45**

Tehnika bušenja: **ROTACIJSKO**

Q_{max} (dm³/s): q (dm³/s/m'):

RPV_{stat} (m): **6,7** RPV_{din} (m):

s_{max} (m): Temperatura (°C):

Način crpljenja:

Stratigrafska pripadnost:

Tip analize:

Karotaža (da/ne): ☐ Pok. crpljenje (da/ne): ☐

Element trase

☐ Ulazni objekt trase ☐ Izlazni objekt trase

Tehnički podaci u ugradnji (da/ne): ☒

Rbr.	Od (m)	Do (m)	Ugradnja	Promjer (mm)	Materijal	Opaska
1	0	4	C	125	PLASTIČNE CIJEVI	
2	4	42	F	125	TRAKASTI	
3	42	44	T	125	PLASTIČNE CIJEVI	

Litološki podaci (da/ne): ☒

Rbr.	Od (m)	Do (m)	Litološki opis
1	0	1,7	GLINOVITI PRAH
2	1,7	24	ŠLJUNAK
3	24	42,7	ŠLJUNAK PJESKOVITI
4	42,7	44,3	PRAH
5	44,3	45	GLINA SIVA

Hidrogeološki parametri (da/ne): ☐

Podaci o motrenju razina PV (da/ne): ☒

Datum početka motrenja	Datum svršetka motrenja	Učestalost motrenja	Način motrenja
14.12.1995.			

Šifra arhive izvornih podataka: **IGH**

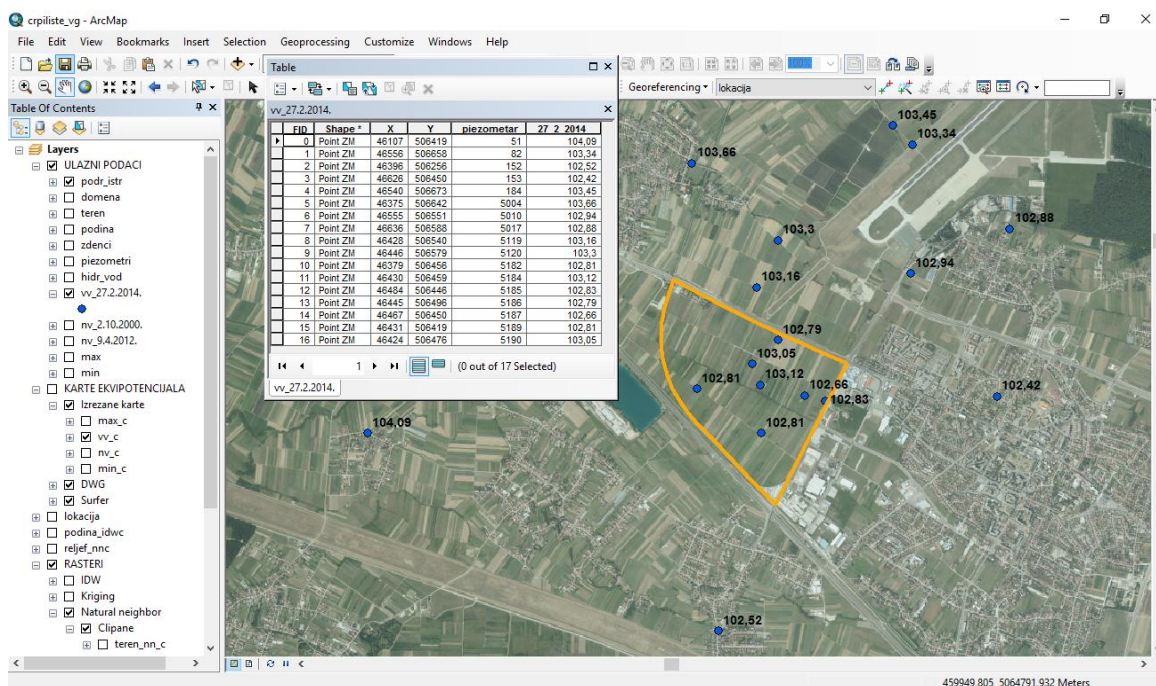
Arhivski broj:

Datum upisa u katastar:

Datum prvog upisa u bazu:

Datum ažuriranja u bazi: **18.4.2003.**

Slika 3.1. Primjer strukturiranih podataka u EGPV bazi za pojedini hidrogeološki objekt



Slika 3.2. Organizacija podataka u GIS projektu

3.2. Obrada podataka

Obradi prikupljenih i sistematiziranih podataka pristupilo se primjenom odgovarajućih znanstvenih metoda i korištenjem relevantnih kompjuterskih programa detaljno prikazanim u sljedećim poglavljima.

3.2.1. Određivanje podine vodonosnog sloja

Za određivanje dubine podine vodonosnog sloja korištene su strukturno-piezometarske bušotine i zdenci. Pregledom podataka o litološkom sastavu 25 strukturno-piezometarskih bušotina i 5 zdenaca, utvrđeno je, da je u njih 9, na određenoj dubini, nabušen sitnozrnati materijal, najčešće glina (Tablica 3.1.). Za tih 9 strukturno-piezometarskih bušotina i zdenaca izrađeni su presjeci pomoću LogPlot 7® softvera (Prilozi 1 – 5).

Zbog relativno malih dubina svih bušotina, može se pretpostaviti da je zahvaćen samo prvi vodonosni sloj. Izuzetak je bušotina S-7, ukupne dubine 81,0 m, u kojoj je glina

nabušena na 77,3 m. Prostorna udaljenost između bušotine S-7 i bušotina S-8, SP-1 i SP-2 je mala (manja od 300 metara), a dubina na kojoj se pojavljuje glina u ove tri bušotine u prosjeku iznosi 40,2 m. Razlika u dubinama na kojim se pojavljuje glina veća je od 35 m, zbog čega bušotina S-7 nije uključena u izradu karte izostrata podine prvog vodonosnog sloja.

Premda je u bušotini SP-2 nabušena glina zbog nešto manje dubine bušotine (38,0 m), pretpostavlja se da nije nabušena podina već proslojak sitnozrnatog materijala. Sukladno navedenom, ova bušotina je izuzeta iz baze podataka korištene za interpolaciju podine.

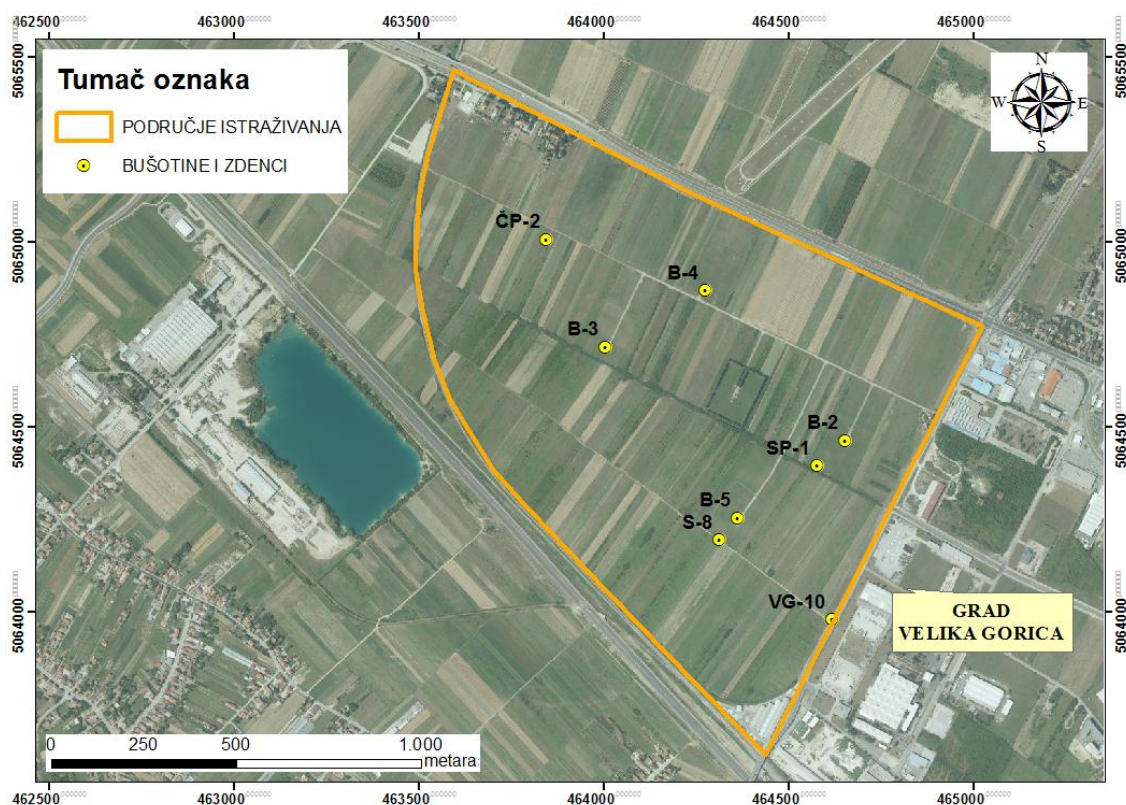
U izradu su uključena 3 zdenca – B-2, B-4 i B-5 u kojima je nabušena podina prvog vodonosnog sloja (Tablica 3.2.). Prostorni raspored točkastih podataka naznačen je na slici 3.3.

Tablica 3.1. Tehnički podaci i litološki opis strukturno-piezometarskih bušotina i zdenaca na istraživanom području

oznaka u elaboratu	šifra objekta	X	Y	Z (m n. m.)	kota 0 (m n. m.)	litološki stup	
S-7	ZG-3-P-53	464251,27	5064251,39	108	108,00	0 - 1,7 1,7 - 77,3 77,3 - 81,0	humus šljunak i pijesak glina
S-8	ZG-3-P-54	464314,47	5064194,95	107	/	0 - 2,5 2,5 - 47,4 47,4 - 50,0	humus šljunak i pijesak glina
SP-1	ZG-3-P-55	464577,47	5064393,28	107	/	0 - 3,0 3,0 - 36,7 36,7 - 37,7	humus šljunak i pijesak glina
SP-2	ZG-3-P-56	463999,34	5064402,88	107	/	0 - 1,5 1,5 - 36,5 36,5 - 38,0	humus šljunak i pijesak glina
ČP-2	ZG-3-P-69	463845,65	5065006,58	108	108,49	0 - 2,0 2,0 - 23,3 23,3 - 23,9 23,9 - 29,7 29,7 - 39,0 39,0 - 44,0	pijesak glinoviti šljunak pjeskoviti (mjestimice pojava gline) šljunak šljunak pjeskoviti šljunak pjeskoviti, zaglinjeni glina
VG-10	ZG-3-P-131	464619,20	5063977,17	107	107,90	0 - 1,7 1,7 - 24,0 24,0 - 42,7 42,7 - 44,3 44,3 - 45,0	glinoviti prah šljunak šljunak pjeskoviti prah glina siva
B-2	ZG-3-B-66	464653,05	5064461,62	107	105,00	0 - 2,0 2,0 - 45,5 45,5 - 46,3 46,3 - 47,5 47,5 - 50,0	glina šljunak glina šljunak glina
B-4	ZG-3-B-83	464275,23	5064868,02	108	105,00	0 - 2,6 2,6 - 45,5 45,5 - 46,0 46,0 - 47,0 47,0 - 48,0	glina šljunak glina prašinasta šljunak pijesak
B-5	ZG-3-B-84	464364,13	5064252,07	107	105,00	0 - 0,4 0,4 - 43,5 43,5 - 49,0	humus šljunak i pijesak glina

Tablica 3.2. Podaci o položaju podine korišteni za izradu karte izostrata

oznaka u elaboratu	šifra objekta	X	Y	Z (m n. m.)	dubina podine (m n.m.)
S-8	ZG-3-P-54	464314,47	5064194,95	107	59,6
SP-1	ZG-3-P-55	464577,47	5064393,28	107	70,3
ČP-2	ZG-3-P-69	463845,65	5065006,58	108	69,0
VG-10	ZG-3-P-131	464619,20	5063977,17	107	64,3
B-2	ZG-3-B-66	464653,05	5064461,62	107	59,5
B-4	ZG-3-B-83	464275,23	5064868,02	108	62,5
B-5	ZG-3-B-84	464364,13	5064252,07	107	63,5



Slika 3.3. Lokacije piezometara i zdenaca korištenih za izradu karte izostrata podine prvog vodonosnog sloja

3.2.2. Određivanje hidrauličke vodljivosti prvog vodonosnog sloja

Hidraulička vodljivost je parametar koji izražava lakoću kojom se voda giba kroz vodonosni sloj (Bačani, 2006). Nekoliko je metoda pomoću kojih se određuje hidraulička vodljivost: terenska metoda pokusnog crpljenja, laboratorijska metoda pomoću permeametra te metoda koja se temelji na empirijskim formulama uz korištenje podataka o granulometrijskom sastavu porozne sredine. Potonjom metodom izračunate su hidrauličke vodljivosti za područje vodocrpilišta.

Rezultati granulometrijske analize koriste se kao ulaz za empirijske formule, a korištene su Hazen-ova (4.1), USBR-ova (4.2), Slichter-ova (4.3) i Beyer-ova formula (4.4). Sve ove formule izračunavaju hidrauličku vodljivost na temelju efektivnog promjera zrna.

➤ Hazen (1893)

$$K = C_H \cdot d_{10}^2 \quad (4.1)$$

K – hidraulička vodljivost (m/s)

$C_H = 0,0116$ za K izražen u m/s

d_{10} – efektivni promjer zrna (mm)

Za korištenje Hazen-ove formule trebaju biti zadovoljena dva uvjeta:

1. koeficijent jednolikosti – $\frac{d_{60}}{d_{10}} < 5$
2. $d_{10} = 0,1 - 3 \text{ mm}$

➤ USBR (Miletić i Heinrich – Miletić, 1981)

$$K = C \cdot d_{20}^{2,3} \quad (4.2)$$

K – hidraulička vodljivost (m/s)

$C = 0,0036$ za K izražen u m/s

d_{20} – efektivni promjer zrna (mm)

➤ Slichter (1899)

$$K = C \cdot d_{10}^2 \quad (4.3)$$

K – hidraulička vodljivost (m/s)

C = 0,00574 za K izražen u m/s

d₁₀ – efektivni promjer zrna (mm)

➤ Beyer (1964)

$$K = C \cdot d_{10}^2 \cdot \log \frac{500}{d_{60}/d_{10}} \quad (4.4)$$

K – hidraulička vodljivost (m/s)

C = 0,0045 za K u m/s

d₁₀ – efektivni promjer zrna (mm)

d₆₀ – efektivni promjer zrna (mm)

Podaci o efektivnim promjerima zrna (d₁₀, d₂₀ i d₆₀) potrebni za izračun hidrauličke vodljivosti očitani su iz granulometrijskih krivulja (Geofizika, 1982, 1986) dobivenih granulometrijskim analizama (Tablice 3.3., 3.4., 3.5. i 3.6.).

Tablica 3.3. Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-1

S-1	Dubina sa koje je uzet uzorak (m)	Pripadni interval (debljina) l (m)	d ₁₀ (mm)	d ₂₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	1. uvjet d ₆₀ /d ₁₀ < 5	2. uvjet d ₁₀ = 0,1-3 mm
I.	13,0-13,2	14,9	5,7	12,5	32,0	5,6	-
II.	20,0-20,30	5,15	4,5	6,5	13,2	2,9	-
III.	23,20-23,50	4,75	4,5	7,5	14,0	3,1	-
IV.	29,50-30,00	5,35	3,8	6,0	11,5	3,0	-
V.	33,70-33,90	3,95	4,8	7,0	14,0	2,9	-
VI.	37,70-38,0	3,8	5,25	8,55	19,0	3,6	-
VII.	41,20-41,50	3,75	3,4	5,5	11,5	3,4	-
VIII.	45,20-45,50	4,15	3,6	6,5	14,5	4,0	-
IX.	49,50-49,70	3,35	6,5	9,1	16,5	2,5	-
X.	52,0-52,20	3,25	0,001	0,065	0,26	260,0	+
XI.	56,00-56,30	2,4	0,001	0,06	0,32	320,0	+
Σ		49,15					
HAZEN		USBR	SLICHTER	BEYER	K _{i sr} (m/s)	K _{i sr} * l (debljina)	K _x = (Σk _i *l _i)/Σl _i
I.	-	1,2000	0,1865	0,2851	0,5572	8,30	0,3207
II.	-	0,2667	0,1162	0,2034	0,1954	1,01	
III.	-	0,3706	0,1162	0,2010	0,2293	1,09	
IV.	-	0,2218	0,0829	0,1441	0,1496	0,80	
V.	-	0,3162	0,1322	0,2316	0,2267	0,90	
VI.	-	0,5010	0,1582	0,2655	0,3082	1,17	
VII.	-	0,1816	0,0664	0,1129	0,1203	0,45	
VIII.	-	0,2667	0,0744	0,1221	0,1544	0,64	
IX.	-	0,5782	0,2425	0,4362	0,4190	1,40	
X.	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	
XI.	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	
Σ		15,760					

Tablica 3.4. Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-2

S-2	Dubina sa koje je uzet uzorak (m)	Pripadni interval (debljina) l (m)	d ₁₀ (mm)	d ₂₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	1. uvjet d ₆₀ /d ₁₀ < 5	2. uvjet d ₁₀ = 0,1-3 mm
I.	6,0-7,0	10,3	6,25	8,25	15,0	2,4	-
II.	17,0-17,3	11,15	7,4	9,5	17,5	2,4	-
III.	29,0-30,0	7,85	5,52	7,5	15,5	2,8	-
IV.	32,0-33,0	3	4,0	6,0	12,5	3,1	-
V.	35,0-36,0	3	2,85	4,5	10,3	3,6	+
VI.	38,0-39,0	6	4,4	6,55	13,8	3,1	-
VII.	47,0-48,0	7	3,8	5,5	10,2	2,7	-
VIII.	52,0-53,0	4	0,18	0,3	3,6	20,0	+
IX.	55,0-56,0	2	10,0	15,0	23,0	2,3	-
Σ		48,3					
	HAZEN	USBR	SLICHTER	BEYER	K _{i sr} (m/s)	K _{i sr} * l (debljina)	K _x =(Σk _i *l _i)/Σl _i
I.	-	0,4615	0,2242	0,4076	0,3644	3,7536	0,2986
II.	-	0,6384	0,3143	0,5730	0,5086	5,6703	
III.	-	0,3706	0,1749	0,3086	0,2847	2,2350	
IV.	-	0,2218	0,0918	0,1587	0,1575	0,4724	
V.	0,0001	0,1145	0,0466	0,0783	0,0599	0,1796	
VI.	-	0,2714	0,1111	0,1919	0,1915	1,1489	
VII.	-	0,1816	0,0829	0,1475	0,1373	0,9614	
VIII.	-	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0008	
IX.	-	1,8252	0,5740	1,0518	1,1503	2,3006	
Σ							14,4211

Tablica 3.5. Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-7

S-7	Dubina sa koje je uzet uzorak (m)	Pripadni interval (debljina) l (m)	d ₁₀ (mm)	d ₂₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	1. uvjet d ₆₀ /d ₁₀ < 5	2. uvjet d ₁₀ = 0,1-3 mm
I.	7,0 - 7,5	6,05	2,72	4,47	8,9	3,3	+
II.	8,0 - 8,5	2,25	0,57	1,77	4,6	8,1	+
III.	11,5 - 12,0	3	1,3	2,68	8,9	6,8	+
IV.	14,0 - 14,5	2,25	0,209	0,48	3,2	15,3	+
V.	16,0 - 16,5	5,25	3,41	5,9	13,0	3,8	-
VI.	24,5 - 25,0	7,25	6,2	8,8	15,4	2,5	-
VII.	30,5 - 31,0	4,5	1,7	3,45	8,0	4,7	+
VIII.	33,5 - 34,0	5,25	8,0	9,5	13,0	1,6	-
IX.	41,0 - 41,5	6,25	1,4	3,0	7,7	5,5	+
X.	46,0 - 46,5	3,5	0,318	0,81	4,9	15,4	+
XI.	48,0 - 48,5	4,5	0,104	0,153	0,26	2,5	+
XII.	55,0 - 55,5	5,25	0,0044	0,011	0,175	39,8	-
XIII.	58,5 - 59,0	6,25	1,9	3,5	11,0	5,8	+
XIV.	67,5 - 68,0	8,5	0,155	0,29	1,29	8,3	+
XV.	75,5 - 76,0	5,55	0,21	0,51	1,7	8,1	+
Σ		45,55					
	HAZEN	USBR	SLICHTER	BEYER	K _{i sr} (m/s)	K _{i sr} * l (debljina)	K _x =(Σk _i *l _i)/Σl _i
I.	0,0858	0,1127	0,0425	0,0727	0,0784	0,4745	0,1613
II.	-	0,0134	0,0019	0,0026	0,0060	0,0134	
III.	-	0,0348	0,0097	0,0142	0,0195	0,0586	
IV.	-	0,0007	0,0003	0,0003	0,0004	0,0009	
V.	-	0,2134	0,0667	0,1108	0,1303	0,6842	
VI.	-	0,5353	0,2206	0,3985	0,3848	2,7900	
VII.	0,0335	0,0621	0,0166	0,0264	0,0346	0,1559	
VIII.	-	0,6384	0,3674	0,7166	0,5741	3,0140	
IX.	-	0,0450	0,0113	0,0173	0,0245	0,1533	
X.	-	0,0022	0,0006	0,0007	0,0012	0,0041	
XI.	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	
XII.	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
XIII.	-	0,0642	0,0207	0,0315	0,0388	0,2425	
XIV.	-	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0015	
XV.	-	0,0008	0,0003	0,0004	0,0005	0,0025	
Σ					7,3490		

Tablica 3.6. Određivanje hidrauličke vodljivosti iz uzoraka s bušotine S-8

S-8	Dubina sa koje je uzet uzorak (m)	Pripadni interval (debljina) l (m)	d ₁₀ (mm)	d ₂₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	1. uvjet d ₆₀ /d ₁₀ < 5	2. uvjet d ₁₀ = 0,1-3 mm
I.	4,0 - 4,5	2,75	1,25	1,91	4,4	3,5	+
II.	6,0 - 6,5	3,25	1,65	2,8	5,5	3,3	+
III.	10,5 - 11,0	7	2,62	4,4	11,5	4,4	+
IV.	20,0 - 20,5	6,25	3,4	5,0	10,1	3,0	-
V.	23,0 - 23,5	3,5	0,53	0,95	3,6	6,8	+
VI.	27,0 - 27,5	3,5	1,32	2,9	7,8	5,9	+
VII.	30,0 - 31,0	3	1,85	3,4	9,0	4,9	+
VIII.	32,5 - 33,0	3,75	3,4	5,0	10,9	3,2	-
IX.	38,0 - 38,5	5,25	1,04	1,9	5,4	5,2	+
X.	43,0 - 43,5	4	4,8	6,5	10,3	2,1	-
XI.	46,0 - 46,5	2,65	4,1	5,5	10,0	2,4	-
Σ		44,9					
	HAZEN	USBR	SLICHTER	BEYER	K _{i sr} (m/s)	K _{i sr} * l (debljina)	K _x =(Σk _i *l _i)/Σl _i
I.	0,0181	0,0159	0,0090	0,0151	0,0145	0,0400	0,0723
II.	0,0316	0,0384	0,0156	0,0267	0,0281	0,0912	
III.	0,0796	0,1087	0,0394	0,0635	0,0728	0,5097	
IV.	-	0,1459	0,0664	0,1158	0,1093	0,6834	
V.	-	0,0032	0,0016	0,0024	0,0024	0,0084	
VI.	-	0,0417	0,0100	0,0151	0,0223	0,0779	
VII.	0,0397	0,0601	0,0196	0,0310	0,0376	0,1128	
VIII.	-	0,1459	0,0664	0,1141	0,1088	0,4079	
IX.	-	0,0158	0,0062	0,0097	0,0105	0,0553	
X.	-	0,2667	0,1322	0,2454	0,2148	0,8592	
XI.	-	0,1816	0,0965	0,1749	0,1510	0,4001	
Σ		3,2459					

U tablicama 3.3., 3.4., 3.5., 3.6. prikazan je izračun srednjih hidrauličkih vodljivosti za četiri strukturno–piezometarske bušotine – S-1, S-2, S-7 i S-8. Za svaki uzorak određen je pripadni dubinski interval s kojim se množi srednja vrijednost hidrauličke vodljivosti pripadnog intervala dobivena s 4 različite formule. Suma navedenih vrijednosti dijeli se sa sumom debljine pripadnih intervala, a rezultat je srednja horizontalna hidraulička vodljivost na lokaciji pripadne bušotine.

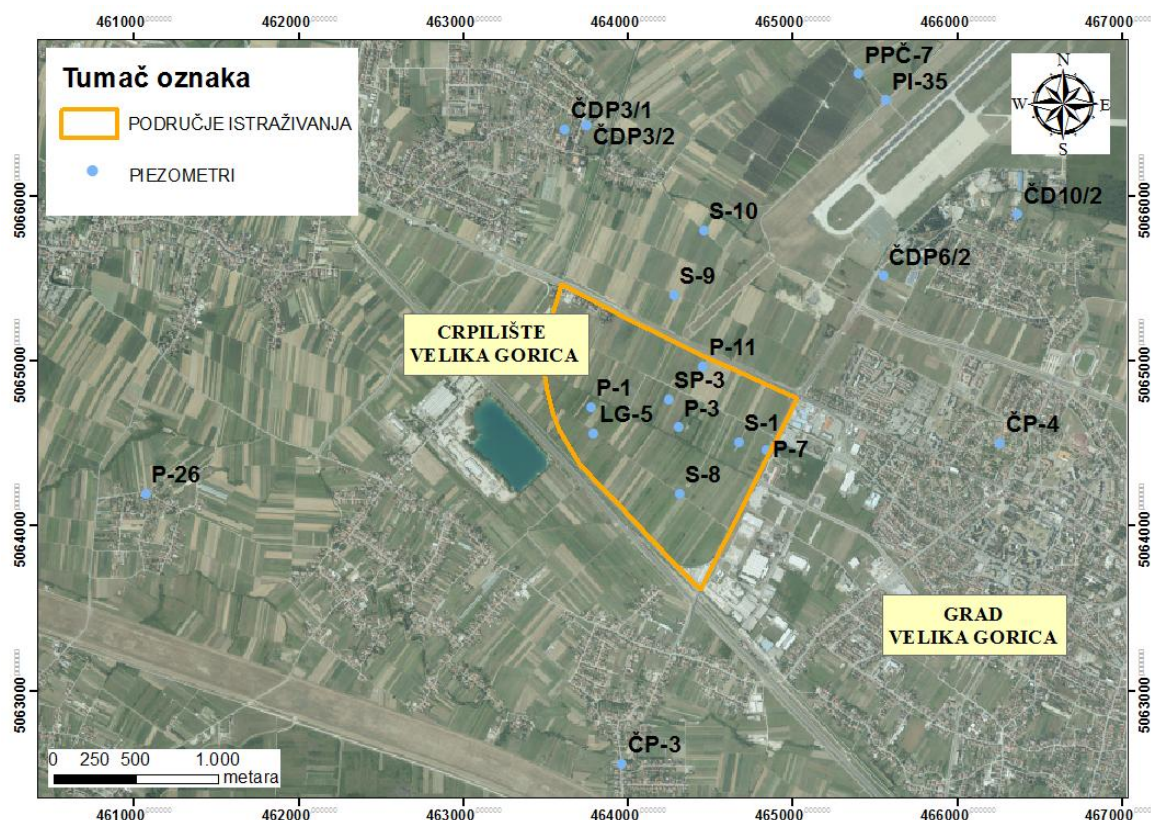
Hidraulička vodljivost prvog vodonosnog sloja varira s dubinom – u dionicama gdje je povećan udio sitnozrnatog materijala manja je nego u intervalima gdje je dominantno šljunak. Ove oscilacije u litološkom sastavu mogu se objasniti promjenom intenziteta taloženja materijala u geološkoj prošlosti koja je posljedica izmjene glacijala i interglacijala. Za vrijeme glacijala hladna i suha klima pogodovala je taloženju sitnozrnatog materijala, a topla i vlažna klima interglacijala rezultirala je taloženjem krupnozrnatijeg sedimenta. Konačni rezultat je izražena heterogenost i anizotropija vodonosnog sloja.

U bušotinama S-1, S-2 i S-7 uočeno je naglo smanjenje hidrauličke vodljivosti između 48,00 i 52,0 metra dubine. Te dubine odgovaraju pretpostavljenoj dubini podine prvog vodonosnog sloja. Obzirom da su za daljnje analize potrebne hidrauličke vodljivosti prvog vodonosnog sloja, iz izračuna su izuzeti intervali za koje se pretpostavlja da zahvaćaju podinu odnosno drugi vodonosni sloj. Te su vrijednosti u tablicama 3.3., 3.4. i 3.5. označene žutom bojom.

Dobivene vrijednosti uspoređene su s vrijednostima hidrauličkih vodljivosti određenim pokusnim crpljenjem zdenaca te diskutirane u poglavlju 5.

3.2.3. Određivanje najnižih i najviših razina podzemne vode

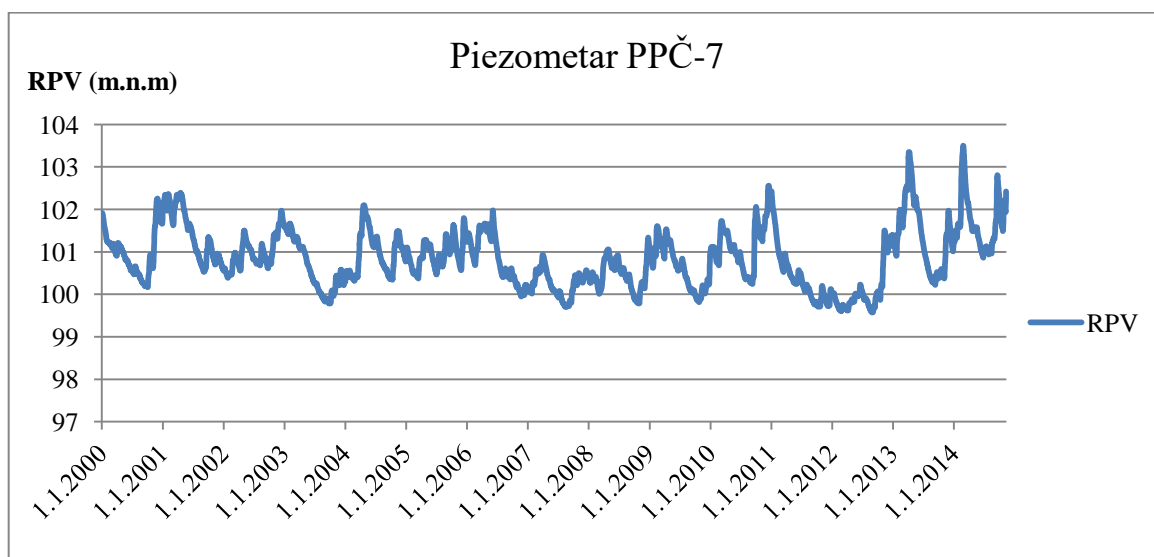
Za određivanje najnižih i najviših zabilježenih razina podzemne vode na području crpilišta Velika Gorica korišteni su podaci sa 19 piezometara iz razdoblja od 2000. – 2014. godine. Podaci o dnevnim kolebanjima razina podzemne vode preuzeti su iz hidrogeološke baze podataka RGNF-a (ukupno oko 100.000 mjerenja), a prostorni smještaj piezometara prikazan je na slici 3.4. Za svaki piezometar konstruiran je graf s prikazom promjene razine podzemne vode u vremenu (Slika 3.5.). Najniže odnosno najviše vrijednosti razina podzemnih voda, u datom vremenskom razdoblju, određivane su na svakom piezometru neovisno o datumu.



Slika 3.4. Položaj piezometara na istraživnom području

Vrijednosti se mogu odrediti očitavanjem najviše odnosno najniže vrijednosti razine podzemne vode iz grafičkog prikaza. Na primjer, za piezometar PPČ-7 na temelju grafičkog prikaza (Slika 3.5.) lako je uočiti da je najniža zabilježena razina vode 99,57 m n.m. iz 2012. godine. Isto tako, najviša zabilježena razina vode je 103,5 m n.m. u 2014. godini.

Drugi način, koji je i korišten pri određivanju je upotreba Microsoft Office Excel funkcije MIN i MAX za određivanje najnižih odnosno najviših vrijednosti na nizu podataka. Ovim postupkom određene su najniže i najviše vrijednosti razina podzemne vode na 19 piezometara lociranih unutar područja istraživanja i u njegovoj neposrednoj blizini (Tablica 3.7.).



Slika 3.5. Primjer grafičkog prikaza promjene razine podzemne vode u piezometru PPČ-7

Tablica 3.7. Najniže i najviše razine podzemne vode na pojedinom piezometru u vremenskom razdoblju od 2000. do 2014. godine

oznaka piezometra	X	Y	najniži RPV (m n.m.)	najviši RPV (m n.m.)
P-26	461075	5064195	100,77	104,9
PI-35	465567	5066581	99,4	103,34
ČP-3	463964	5062560	99,52	103,25
ČP-4	466260	5064501	99,12	102,49
PPČ-7	465403	5066738	99,57	103,5
ČDP3/1	463750	5066429	/	103,66
ČDP3/2	463751	5066429	99,76	/
ČDP6/2	465551	5065515	99,28	102,94
ČD10/2	466367	5065887	99,2	102,88
S-9	464282	5065400	99,44	103,22
S-10	464460	5065790	99,33	103,3
LG-5	463793	5064562	99,36	103,13
P-1	463777	5064721	99,5	103,25
P-3	464308	5064597	99,21	103,29
P-7	464843	5064460	99,26	102,93
P-11	464458	5064966	99,28	103,03
S-1	464674	5064507	98,95	102,71
S-8	464315	5064195	99,18	102,92
SP-3	464248	5064768	99,32	103,05

3.2.4. Određivanje niskih i visokih voda

Za potrebe određivanja smjera toka podzemne vode uobičajeno je da se izrađuju karte ekvipotencijala za niske i visoke vode na određeni datum. Niske, odnosno visoke vode određuju se na način da se s grafova svakog pojedinog piezometra očitava datum kada su razine niske odnosno visoke na većini piezometara. Na primjer, na prethodno prikazanom grafu (Slika 3.5.), vidljiva je izmjena niskih i visokih voda u razdoblju od petnaest godina. Za izradu karte ekvipotencijala niskih i visokih voda potrebno je u razmatranom vremenskom razdoblju i području odrediti datum kada su bile niske odnosno visoke vode, a što ne znači nužno najniže, odnosno najviše zabilježene razine podzemne vode.

Za niske vode određen je datum 9.4.2012. godine, a za visoke 27.2.2014. godine. Rezultati su objedinjeni i prikazani u tablici 3.8.

Tablica 3.8. Niske i visoke razine podzemne vode na području crpilišta Velika Gorica u vremenskom razdoblju od 2000. do 2014. godine

oznaka piezometra	X	Y	niske vode 9.4.2012. (m n.m.)	visoke vode 27.2.2014. (m n.m.)
P-26	461075	5064195	100,79	104,09
PI-35	465567	5066581	99,48	103,34
ČP-3	463964	5062560	99,66	102,52
ČP-4	466260	5064501	99,12	102,42
PPČ-7	465403	5066738	99,72	103,45
ČDP3/1	463750	5066429	/	103,66
ČDP3/2	463751	5066429	99,76	/
ČDP6/2	465551	5065515	99,28	102,94
ČD10/2	466367	5065887	99,21	102,88
S-9	464282	5065400	99,44	103,16
S-10	464460	5065790	99,49	103,3
LG-5	463793	5064562	99,36	102,81
P-1	463777	5064721	99,51	/
P-3	464308	5064597	99,21	103,12
P-7	464843	5064460	99,26	102,83
P-11	464458	5064966	99,41	102,79
S-1	464674	5064507	98,95	102,66
S-8	464315	5064195	99,18	102,81
SP-3	464248	5064768	99,32	103,05

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Za konačni rezultat istraživanja – 3D hidrogeološki model podzemlja istraživanog područja, potrebno je bilo prethodno obrađene podatke prikazati u obliku rastera kako bi se oni dalje mogli obrađivati kroz softver ArcScene. U nastavku su objašnjene i prikazane karte koje je bilo potrebno izraditi u prvom koraku: karte ekvipotencijala, karta izostrata podine te karte debljine saturacije.

4.1. Karte ekvipotencijala

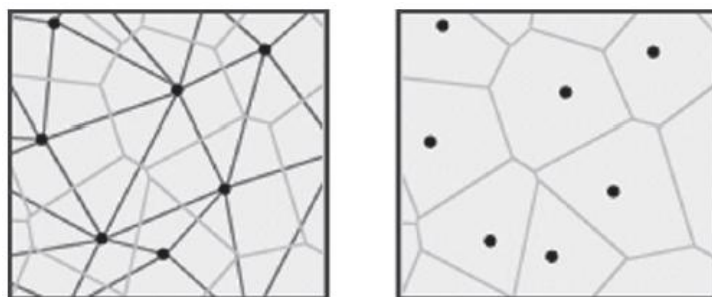
Ekvipotencijale su linije koje spajaju mjesta istih potencijala. Svaka od njih ima svoju vrijednost, a razlika u potencijalima uzrokuje kretanje odnosno tok podzemne vode. Smjer toka je uvijek okomit na ekvipotencijale i kreće se od mjesta većeg potencijala, tj. veće razine podzemne vode prema manjoj.

Za izradu karata ekvipotencijala korišteni su podaci o razinama podzemne vode izmjereni na 19 piezometara u razdoblju od 2000. – 2014. godine. Točkasti podaci su ručno interpolirani u softveru AutoCAD metodom linearne interpolacije kako bi se provjerili rasteri izrađeni u ArcMap-u. Za topografsku podlogu mogu se koristiti karte različitih mjerila, a u ovom slučaju korištena je digitalna ortofoto karta (DOF) preuzeta s geoportala Državne geodetske uprave (<http://www.geoportal.dgu.hr/>).

Rasteri su kreirani interpolacijom pomoću naredbe *Natural Neighbor* u ArcMap-ovoj ekstenziji Spatial Analyst. Uz ovu interpolaciju, postoje još i *IDW* (engl. *Inverse Distance Weighted*), *Kriging* i *Spline* metoda, kojima su kreirani rasteri niskih voda (Slike 4.5. do 4.7.). Usporedbom ovako dobivenih rastera s onim kreiranim *Natural Neighbor* metodom, vidljivo je najbolje poklapanje klasa rastera s ručno interpoliranim ekvipotencijalama kod potonje metode. Iz tog razloga, odabrana je kao relevantna metoda za izradu svih ostalih karata.

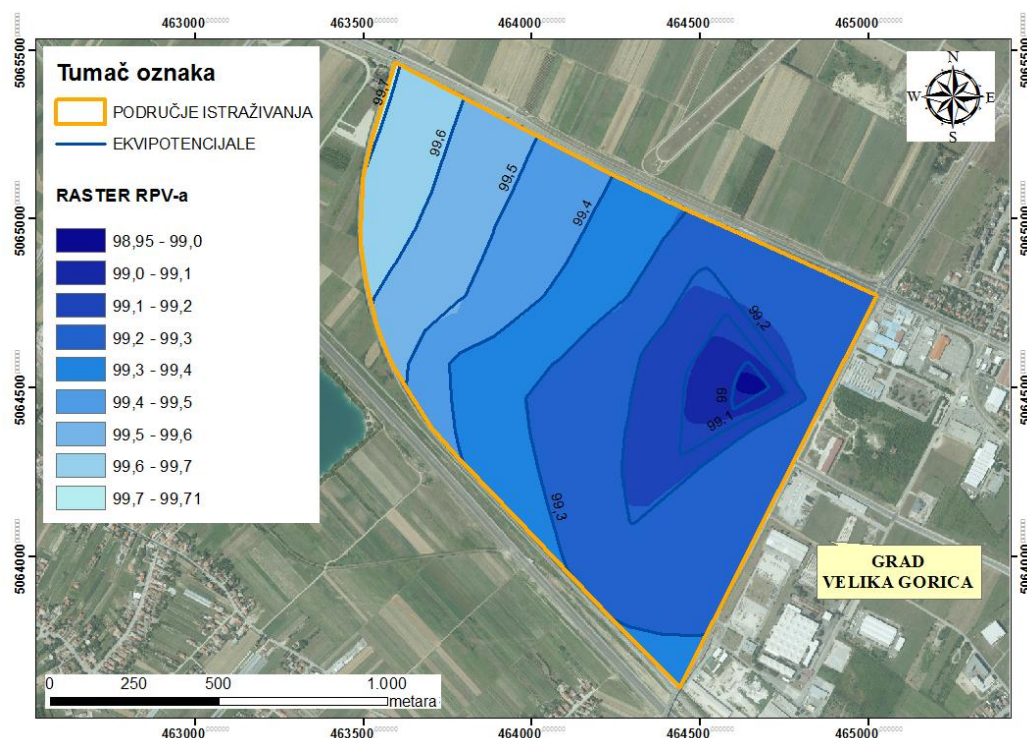
Natural Neighbor metoda radi na principu da točkaste podatke spaja u mrežu trokuta. Konstruiranjem simetrala stranica trokuta nastaje poligon oko svake točke (Slika 4.1.). Površina rastera se u konačnici interpolira tako da se pripadajućem poligonu pridružuje

njegova težinska vrijednost. Ova metoda je najbolja za interpoliranje između neravnomjerno raspoređenih podataka budući da koristi težinski (ponderirani) prosjek, a ne radijuse i sl. (Kennedy, 2009). S obzirom na navedeno, rezultati ovakve interpolacije najbližnji su ručno interpoliranim kartama ekvipotencijala.



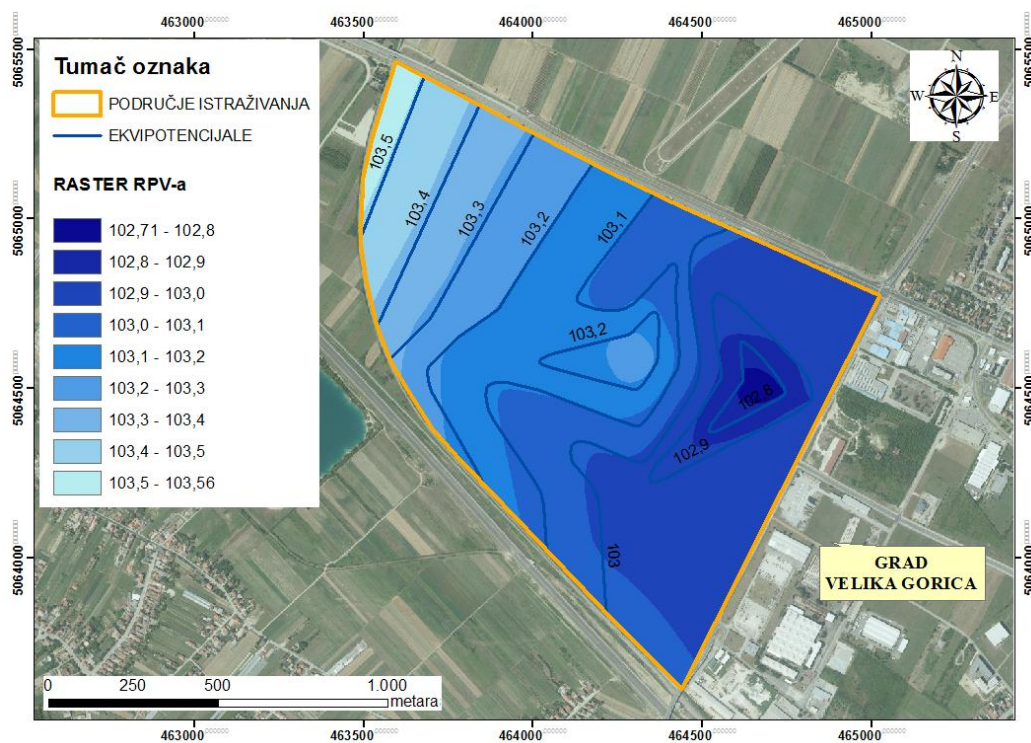
Slika 4.1. Prikaz konstruiranja poligona oko točke (Kennedy, 2009)

Karte prikazuju rastere raspodjele potencijala za vrijeme najnižih (Slika 4.2.) i najviših (Slika 4.3.) razina podzemne vode te stanje u vrijeme niskih (Slika 4.4.) i visokih voda (Slika 4.8.). Na njih su preklopljene i izolinije konstruirane linearnom interpolacijom u AutoCAD-u.



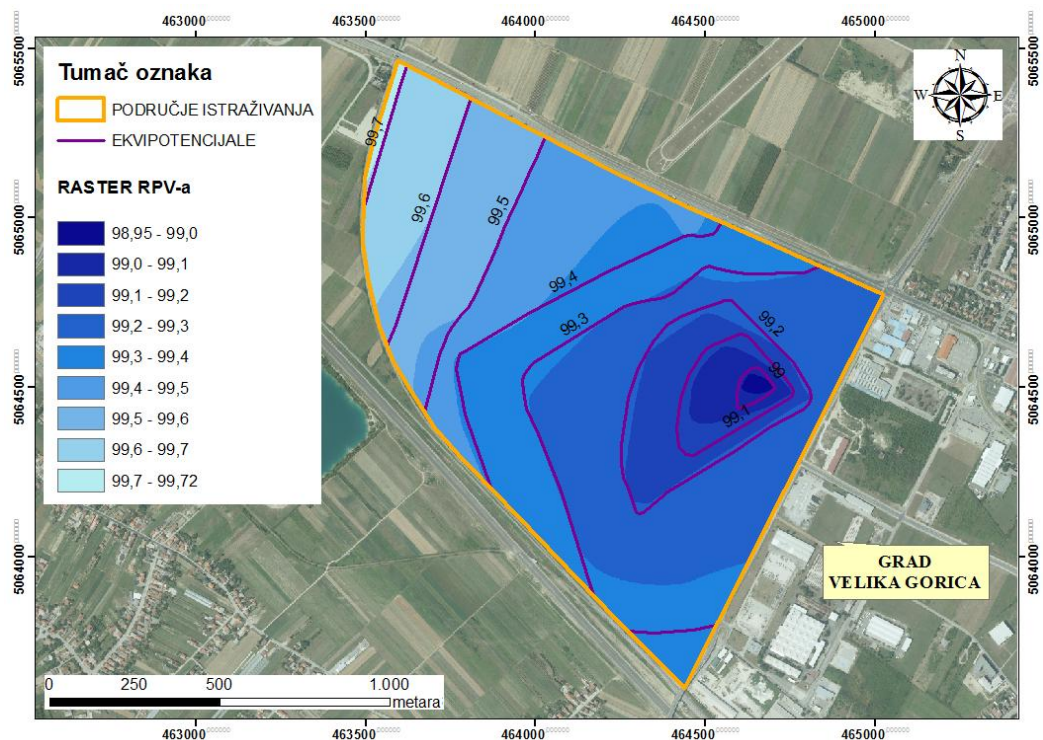
Slika 4.2. Karta najniže zabilježenih razina podzemne vode (2000. – 2014. godine)

Napomena: karta je izvedena što znači da ne prikazuje realno stanje u vodonosniku.

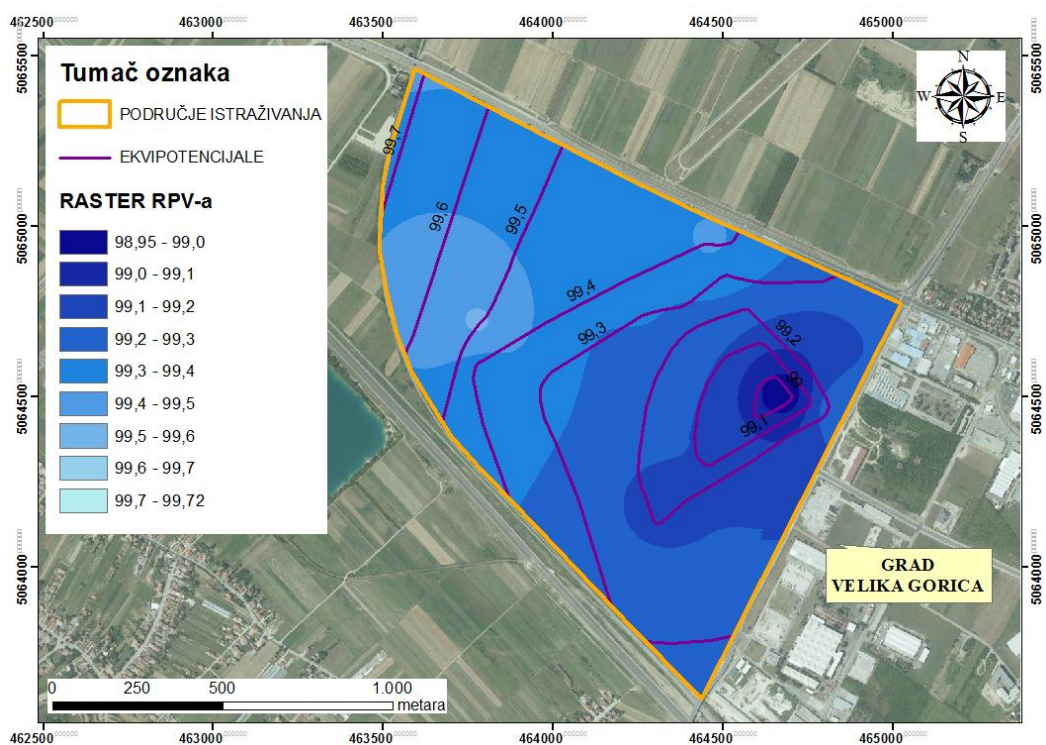


Slika 4.3. Karta najviših zabilježenih razina podzemne vode (2000. – 2014. godine)

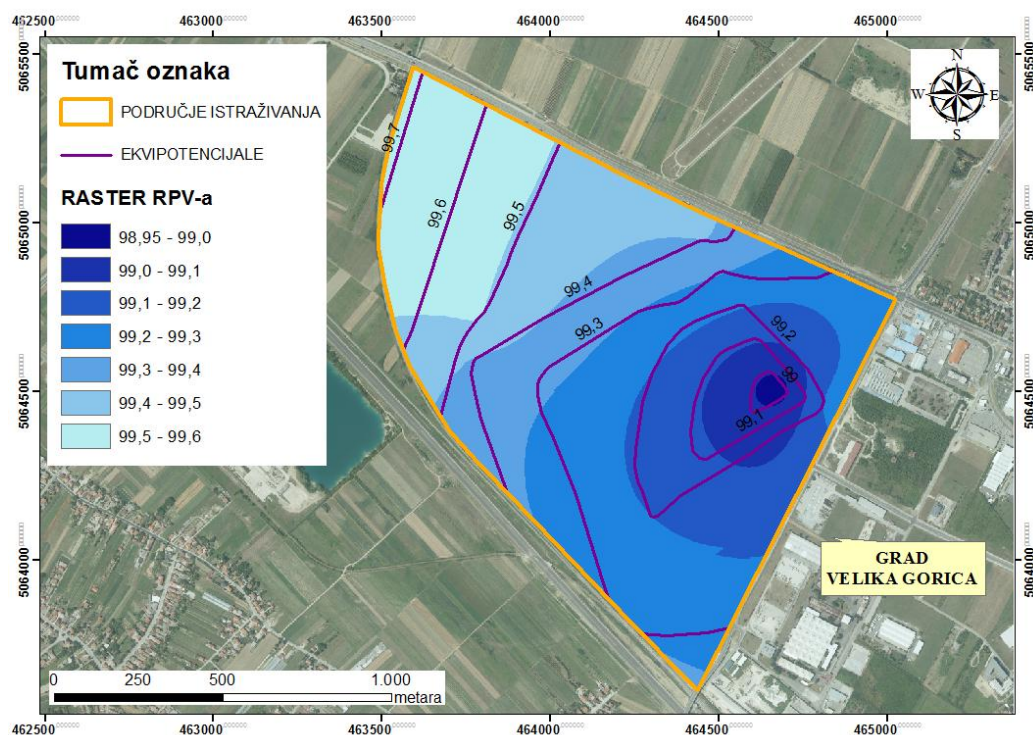
Napomena: karta je izvedena što znači da ne prikazuje realno stanje u vodonosniku.



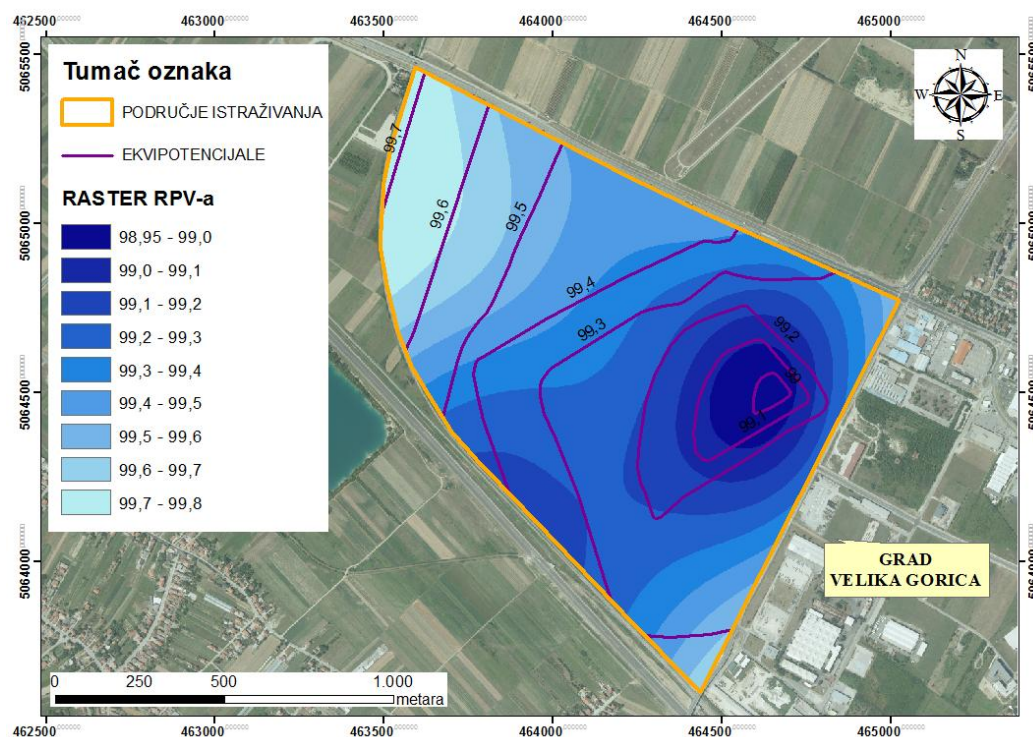
Slika 4.4. Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (*Natural Neighbor* metoda)



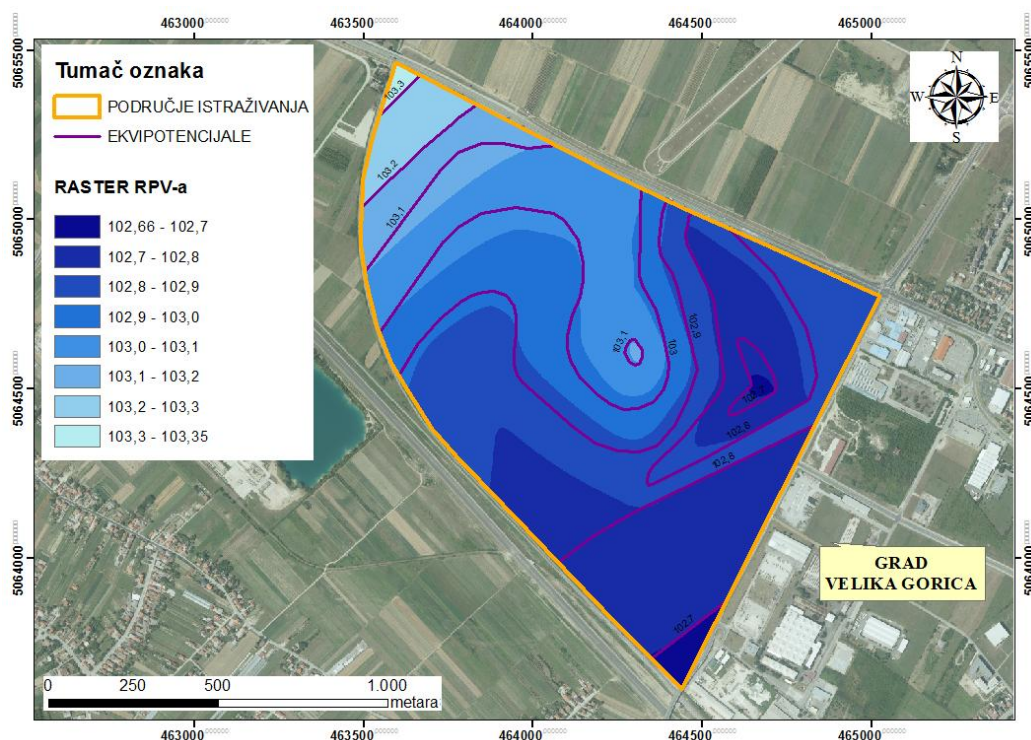
Slika 4.5. Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (*IDW* metoda)



Slika 4.6. Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (*Kriging* metoda)



Slika 4.7. Karta ekvipotencijala niskih voda na dan 9.4.2012. godine (*Spline* metoda)



Slika 4.8. Karta ekvipotencijala visokih voda na dan 27.2.2014. godine

Analizom ekvipotencijala najnižih i najviših voda, može se zaključiti da je i u slučaju najnižih razina podzemne vode, razina vode u vodonosnom sloju i dalje iznad gornjeg ruba filtra u zdencu što je povoljno stanje za daljnji rad zdenaca. Valja napomenuti kako ove karte predstavljaju izvedeno, a ne realno stanje u vodonosniku te nisu referentne za interpretaciju smjerova toka podzemne vode.

Analizom ekvipotencijala niskih i visokih voda definirani su smjerovi toka podzemne vode. Utvrđeno je da za vrijeme niskih i visokih razina podzemnih voda smjer toka od sjeverozapada prema jugoistoku. To odgovara i generalnim smjerovima toka u zagrebačkom vodonosniku koji su paralelni s rijekom Savom. Na istočnom dijelu područja uočava se veće sniženje podzemne vode u odnosu na ostatak područja vodocrpilišta i u vrijeme niskih i u vrijeme visokih voda, odnosno zatvaranje ekvipotencijala. Takva situacija sugerira na značajan utjecaj crpljenja na zdencu B-2.

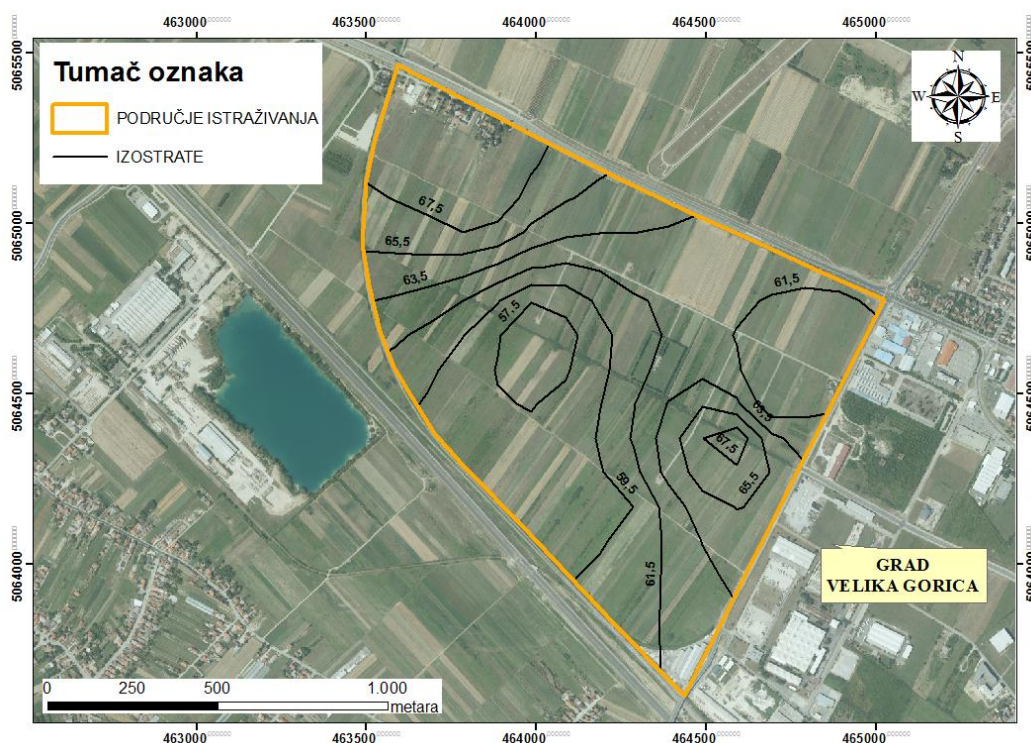
Pri visokim vodama, u središnjem dijelu terena (blizina zdenca B-1), primjećuje se povećana razina podzemne vode koja za posljedicu ima radijalno širenje toka prema područjima nižeg potencijala. Ovakva slika može biti posljedica pogrešnog mjerenja.

4.2. Karta izostrata podine prvog vodonosnog sloja

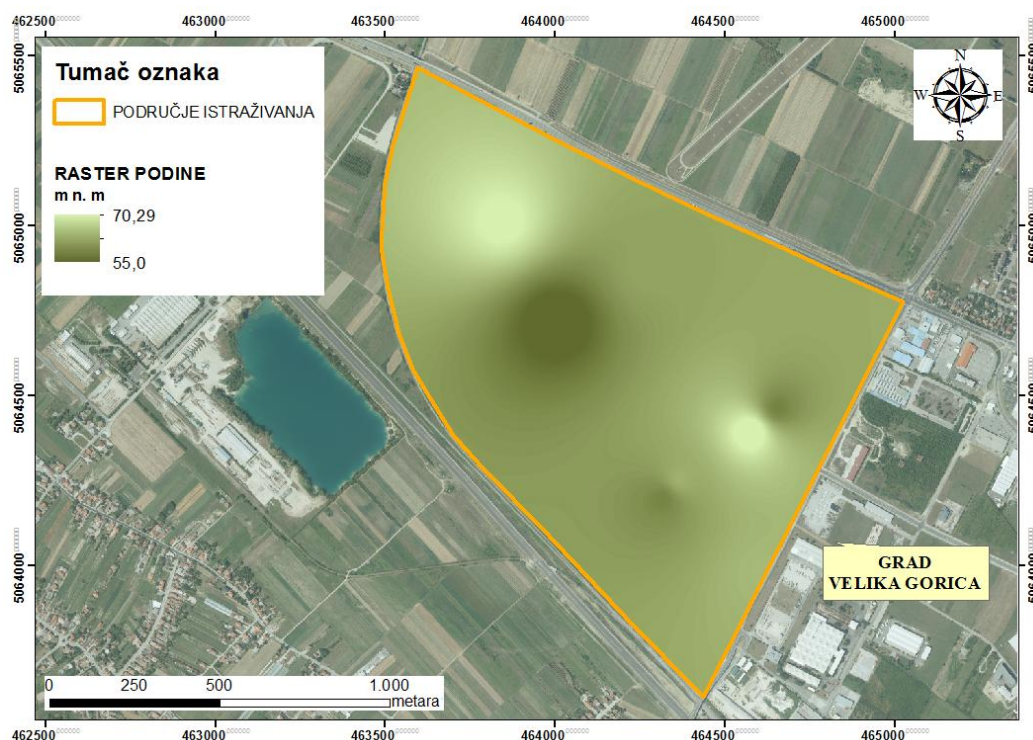
Izostrate su linije koje spajaju mjesta iste nadmorske visine. Za izradu ove karte korištena je baza podataka dobivena pregledom litoloških podataka strukturno-piezometarskih bušotina i zdenaca. Kao što je ranije spomenuto, bušotine i zdenci su relativno plitki, a podina je nejednoliko razvijena što za rezultat ima mali broj iskoristivih bušotina za određivanje podine vodonosnog sloja. Zbog malog broja podataka, na većem dijelu istraživanog područja, karta je ekstrapolirana pomoću softvera Surfer i to metodom *Kriging* (Slika 4.9.).

Analizom karte izostrata podine uočava se nerealno povećanje dubine podine koje odstupa od prosječnih dubina na području vodocrpilišta što će biti zornije prikazano i objašnjeno u obliku 3D hidrogeološkog modela.

Pomoću istog seta podataka, napravljen je i odgovarajući raster (Slika 4.10.) podine u ArcGIS softveru metodom *IDW* (engl. Inverse Distance Weighted). Kreirani raster korišten je pri izradi 3D hidrogeološkog modela podzemlja.



Slika 4.9. Karta izostrata podine prvog vodonosnog sloja



Slika 4.10. Karta rastera podine prvog vodonosnog sloja

4.3. Karte izopaha saturiranih debljina

Izopahe su linije koje povezuju vrijednosti iste debljine sloja. Oduzimanjem ekvipotencijala niskih i visokih voda od izostrata podine prvog vodonosnog sloja, određene su debljine saturacije prvog vodonosnog sloja pri niskim (Slika 4.11.) i visokim razinama podzemne vode (Slika 4.12.). Za vrijeme niskih razina podzemne vode debljina saturacije kreće se od minimalnih 32 m do maksimalnih 42 m, dok su u razdobljima visokih voda debljine saturacije, očekivano, nešto veće i kreću se u rasponu od 35,5 m do 45,5 m debljine.

Analizom izopaha prvog vodonosnog sloja u vrijeme niskih i visokih voda, utvrđeno je da se najveće debljine saturacije nalaze u južnom dijelu vodocrpilišta na što najveći utjecaj ima veća dubina podine prvog vodonosnog sloja na tom području. Premda je u ovom radu naglasak na prvom vodonosnom sloju, važno je razumjeti da su prvi i drugi vodonosni sloj hidraulički povezani. To znači da su zalihe podzemne vode puno veće nego što se stječe dojam iz ovih podataka, gdje je fokus na prvom vodonosnom sloju.



Slika 4.11. Karta izopaha prvog vodonosnog sloja u vrijeme niskih voda



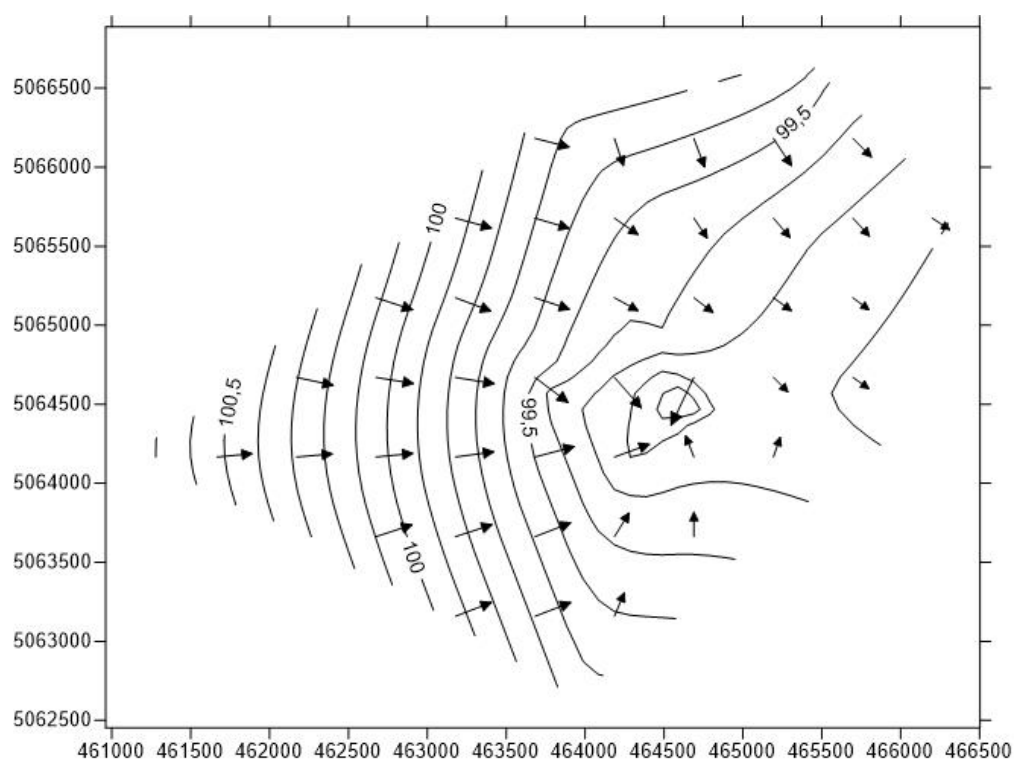
Slika 4.12. Karta izopaha prvog vodonosnog sloja u vrijeme visokih voda

4.4. Karte smjerova toka

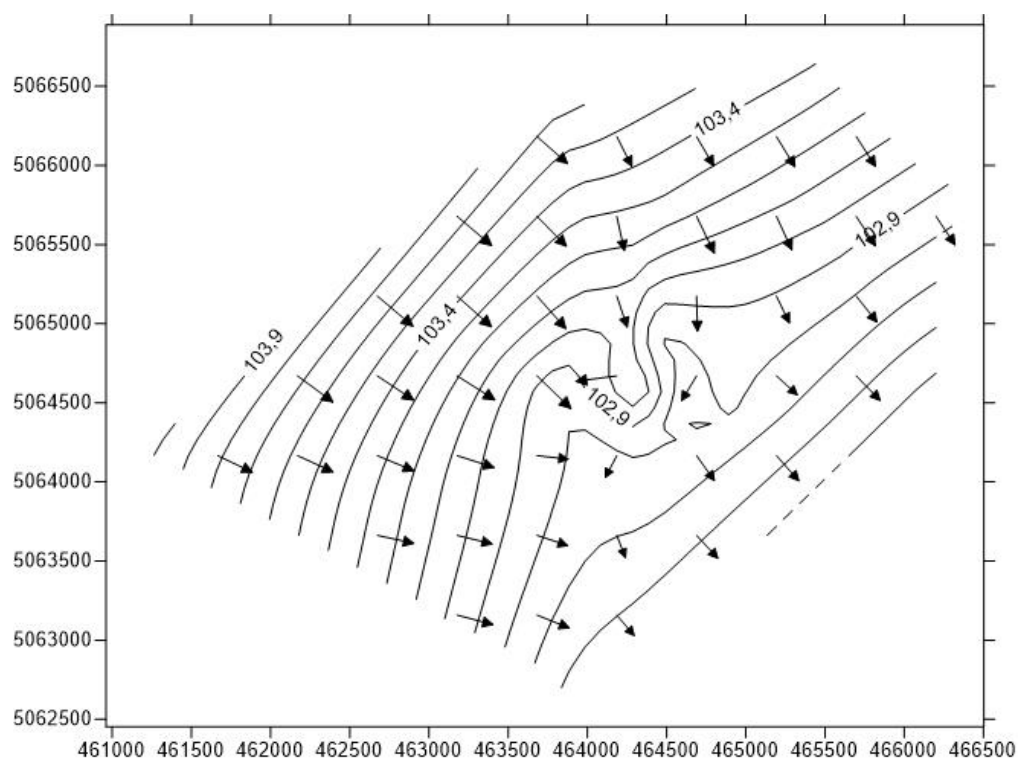
Karte smjerova toka izrađene su u softveru Surfer, pri čemu su kao ulazni podatak korištene vrijednosti razina podzemne vode za vrijeme niskih i visokih voda. Na temelju tih točkastih podataka, unutar zadane domene, metodom *Natural Neighbor* interpolirane su karte ekvipotencijala niskih odn. visokih voda na datum (Slike 4.13. i 4.14.).

Pomoću tako dobivenih karata ekvipotencijala, korištenjem naredbe *1-Grid Vector Map* u softveru Surfer, konstruirane su karte smjerova i magnituda toka za niske i visoke vode. Smjer i magnituda toka prikazani su strijelicom na način da smjer strijelice ukazuje na smjer toka vode, a dužina strijelice sugerira magnitudu. Dulja strijelica upućuje na veću promjenu potencijala i suprotno. Smjer toka je uvijek okomit na ekvipotencijale.

Za vrijeme niskih voda, smjer toka je orijentiran prema zdencu B-2, a za vrijeme visokih voda, u blizini zdenca B-1, vidljiva je povećana razina podzemne vode koja za posljedicu ima radijalno širenje toka prema područjima nižeg potencijala. Ako ove iznimke pripišemo utjecaju crpljenja odn. mjernoj pogrešci (poglavlje 4.1.), generalni smjer toka je sjeverozapad – jugoistok. Može se zaključiti kako se smjerovi podudaraju s utvrđenim smjerovima definiranim analizom karata ekvipotencijala (Slike 4.4. i 4.8.).



Slika 4.13. Karta ekvipotencijala niskih voda (9.4.2012. godine) s naznačenim smjerovima i magnitudama toka



Slika 4.14. Karta ekvipotencijala visokih voda (27.2.2014. godine) s naznačenim smjerovima i magnitudama toka

4.5. 3D hidrogeološki model podzemlja

Kako bi se zornije prikazalo rasprostiranje prvog vodonosnog sloja velikogoričkog crpilišta i oscilacije razina podzemne vode s obzirom na dubinu, koristio se softver ArcScene. ArcScene je dio programskog paketa ArcGIS koji omogućuje da se dvodimenzionalni podaci (u ovom slučaju karte i zdenci) obrađuju i prikazuju u prostoru.

Rasterski podaci kreirani u ArcMapu služe kao ulazni podaci za model. Za modeliranje korišteni su raster reljefa, rasteri niskih i visokih voda te raster podine. Pikseli rastera sadržavaju vrijednosti nadmorske visine s obzirom na koju se pozicioniraju u prostoru. Zbog malih razlika u nadmorskim visinama, a radi boljeg prikaza, cijelom modelu zadano je povećanje vertikalnog mjerila u odnosu na horizontalno u omjeru 15:1.

Za prikaz reljefa očitane su kote terena s Hrvatske osnovne karte mjerila 1:5000 čije su vrijednosti interpolirane u ArcMap-u. Interpolacijom je dobiven raster čije ćelije sadrže vrijednosti nadmorskih visina terena. Radi boljeg prikaza prostornog položaja istraživanog područja, u modelu je preko rastera reljefa „prevučen” georeferencirani isječak digitalne ortofoto karte s područja istraživanja.

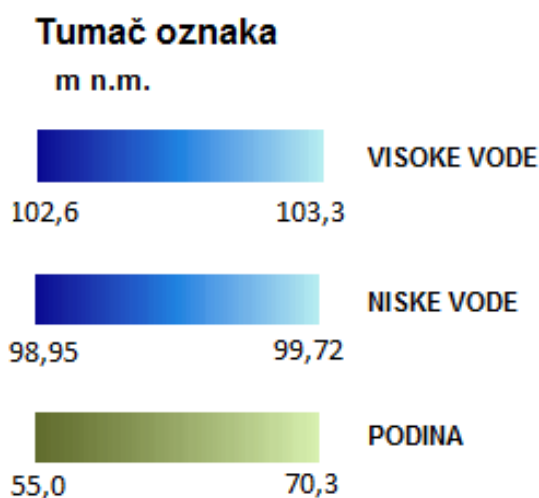
Razine podzemne vode u prostoru prikazane su rasterima niskih i visokih voda. Izrada istih objašnjena je i prikazana u poglavlju 4.1. Obojenost rastera vizualno predočuje promjenu razine podzemne vode – svjetlije obojani dijelovi upućuju na više razine podzemne vode, a tamniji na niže razine.

Unosom rastera podine (Slika 4.10.) i definiranjem pripadajuće nadmorske visine prikazano je rasprostiranje podine u prostoru. Zbog povećanja vertikalnog mjerila, podina djeluje „valovito”, tj. prenaplašene su oscilacije u dubini. Iz toga se može zaključiti da podina nije kontinuirana ploha, kao što se i pretpostavlja, već da se radi o horizontalnoj i vertikalnoj izmjeni leća sitnozrnatog materijala (glina i prah). Ispod leća se očekuje drugi (dublji) vodonosni sloj, a upravo je izrada ovog modela odnosno vizualizacija u prostoru, pomogla u donošenju takvog zaključka.

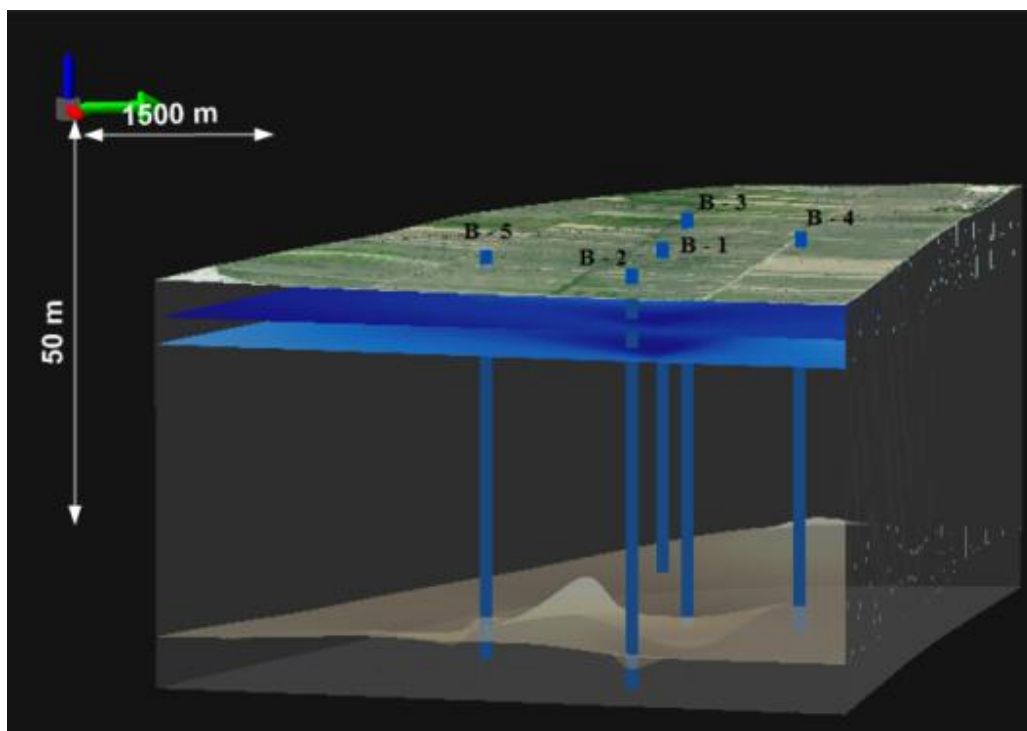
Radi jasnijeg prikaza položaja zdenaca u prostoru, kako na površini, tako i u podzemlju svaki zdenac unesen je kao točkasta tema s pripadajućim koordinatama. Njihovo vertikalno pružanje prikazano na slici 4.16., dobiveno je negativnom ekstruzijom

svakog zdenca za njegovu dubinu bušenja (Tablica 2.1.). Promjena boje zdenaca javlja se na mjestima gdje zdenac svojim dnom prolazi kroz podinu prvog vodonosnog sloja.

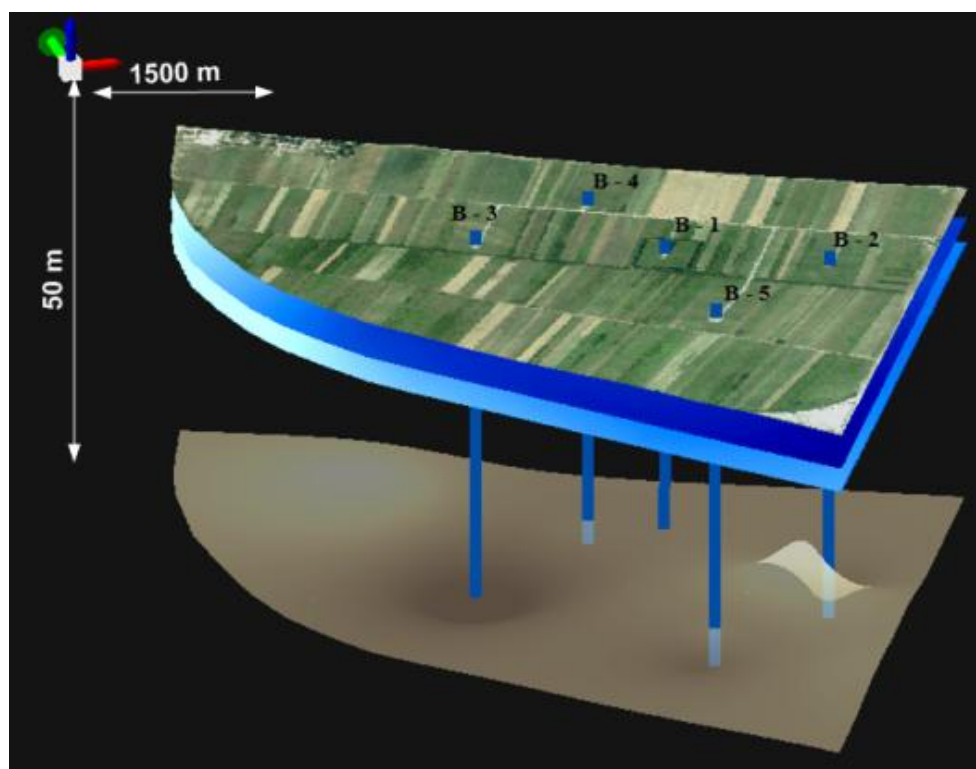
Rezultat prethodno objašnjenog postupka modeliranja je trodimenzionalni hidrogeološki model prikazan na slikama 4.16. do 4.21. Za bolje razumijevanje 3D hidrogeološkog modela kreiran je tumač oznaka s prikazom minimalnih i maksimalnih vrijednosti piksela u ovisnosti s obojenjem rastera (Slika 4.15.).



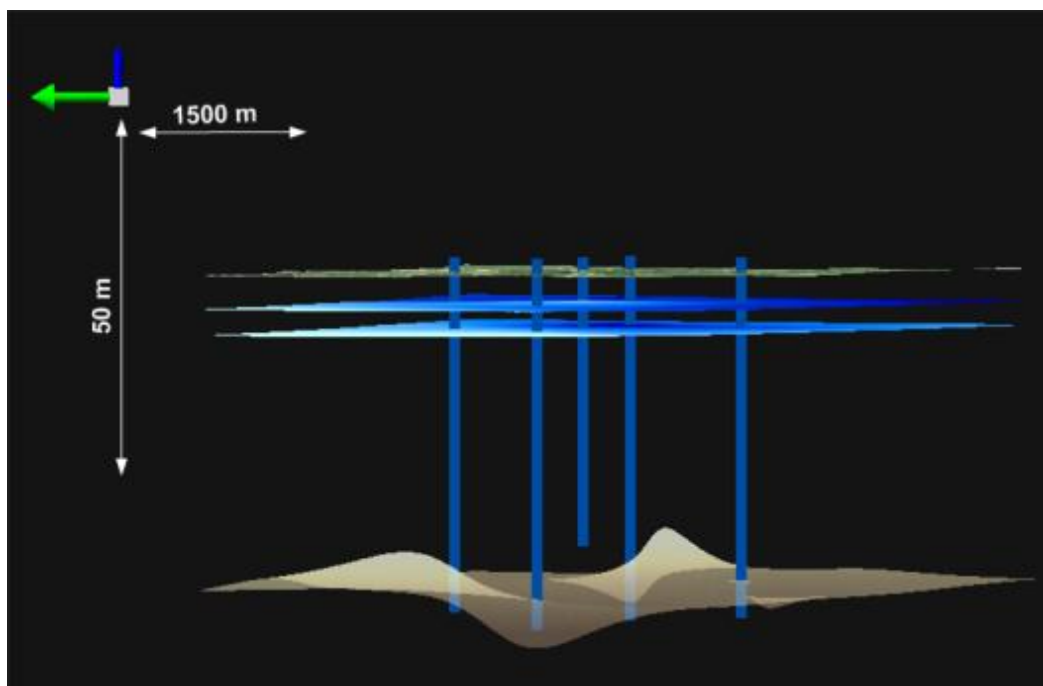
Slika 4.15. Tumač oznaka rastera prikazanih u 3D hidrogeološkom modelu



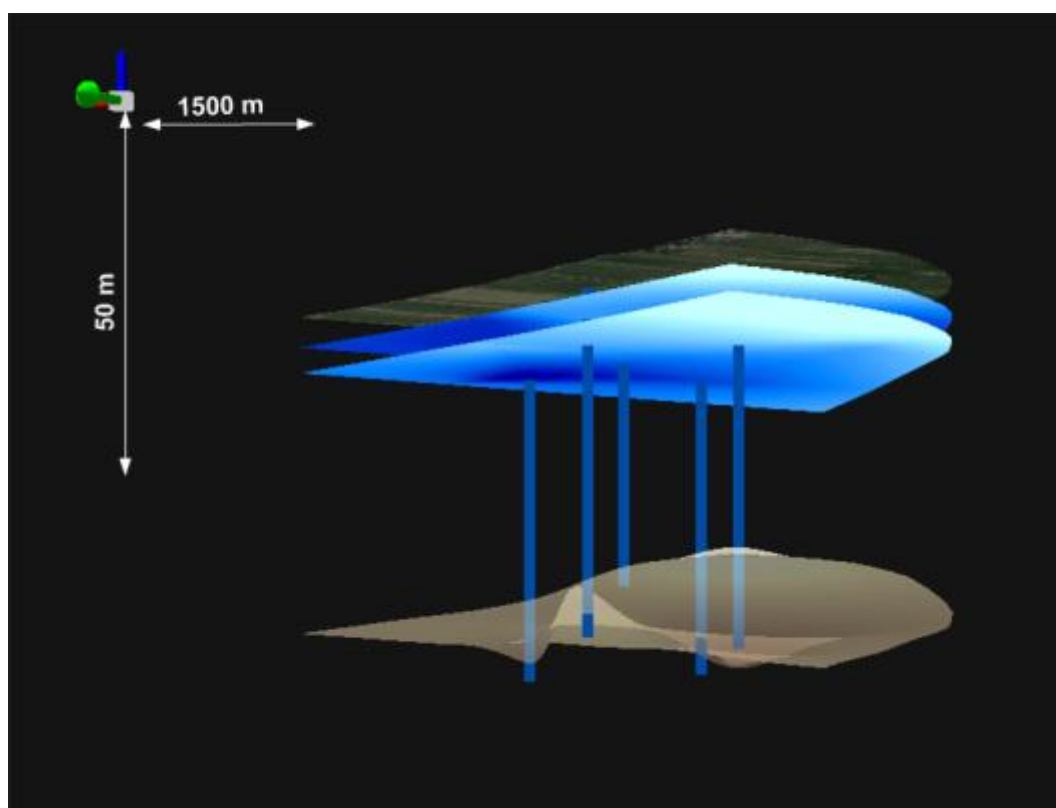
Slika 4.16. 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled s istoka/odozgo
(zelena strijelica – znak sjevera)



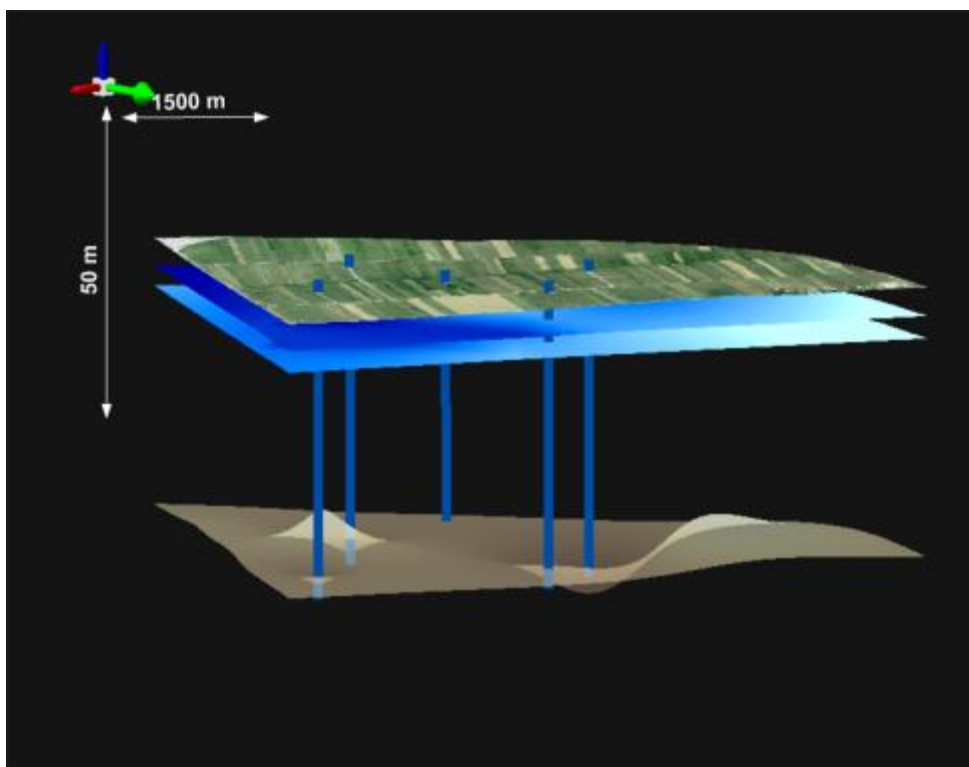
Slika 4.17. 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled s jugozapada/odozgo
(zelena strijelica – znak sjevera)



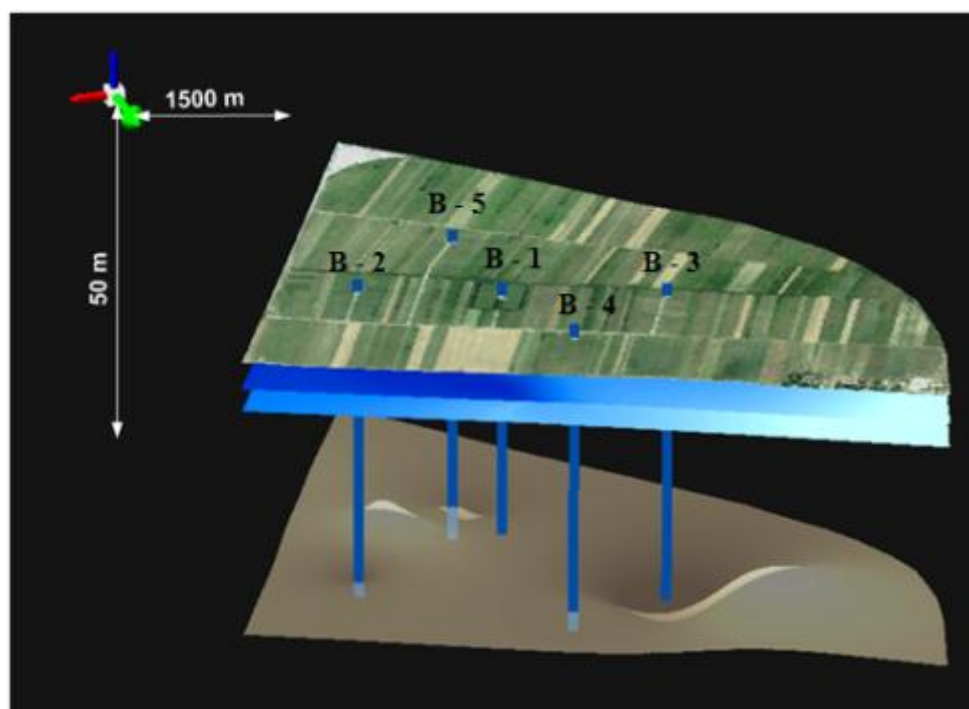
Slika 4.18. 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa zapada (zelena strijelica – znak sjevera)



Slika 4.19. 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa sjevera/odozdo (zelena strijelica – znak sjevera)



Slika 4.20. 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa sjeveroistoka/odozgo (zelena strijelica – znak sjevera)



Slika 4.21. 3D hidrogeološki model crpilišta Velika Gorica - pogled sa sjevera/odozgo (zelena strijelica – znak sjevera)

5. DISKUSIJA

Od početka radova na vodocrpilištu pa do danas, izvedena su brojna istraživanja i radovi na postojećim hidrogeološkim objektima. Svrha ovih radova bila je dobiti uvid u hidrogeološke značajke podzemlja zapadno od Velike Gorice kao i pratiti promjene hidrogeoloških parametara u vremenu uzrokovane crpljenjem.

Prije izrade zdenaca B-2, B-3, B-4 i B-5, u blizini za njih predviđenih lokacija, izvedene su strukturno-piezometarske bušotine S-1, S-2, S-7 i S-8. Usporedan odnos hidrauličkih vodljivosti određenih pokusnim crpljenjem zdenaca te onih određenih empirijskim formulama na temelju granulometrijskih krivulja (poglavlje 3.2.2.) prikazan je u tablici 5.1.

Hidrauličke vodljivosti dobivene pokusnim crpljenjem zdenaca kreću se u rasponu od $7,7 \times 10^{-3}$ m/s do $2,91 \times 10^{-2}$ m/s. Vrijednosti dobivene empirijskim izrazima, iz podataka o granulometrijskom sastavu naslaga, variraju od $7,23 \times 10^{-2}$ m/s do $3,21 \times 10^{-1}$ m/s. Vidljivo je generalno odstupanje vrijednosti za jedan red veličine u korist empirijske metode određivanja.

Dobiveni rezultati uspoređeni su s literaturnim vrijednostima hidrauličke vodljivosti (Fetter, 2000). Za šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sloj, relevantne su zadnje dvije kategorije nekonsolidiranih sedimenata prema kojima se hidraulička vodljivost kreće u rasponu od 10^{-5} m/s do 10^{-2} m/s (Tablica 5.2.). Vidljivo je da hidrauličke vrijednosti dobivene pokusnim crpljenjem zdenaca puno bolje odgovaraju intervalu koji je definirao Fetter (2000), za razliku od empirijski određenih hidrauličkih vodljivosti čije su vrijednosti nerealno visoke za prirodne materijale.

Iz navedenog, može se zaključiti kako je pokusno crpljenje točnija metoda za određivanje parametra hidrauličke vodljivosti. Razlog leži u činjenici da se pokusno crpljenje izvodi „in situ“ što znači da je najbliže prirodnim uvjetima. Kod vađenja uzoraka za laboratorijske analize, poremećenih ili neporemećenih, bez obzira na veličinu i količinu analiziranih uzoraka, ne može se u potpunosti prezentirati prirodno stanje.

Valja napomenuti kako su troškovi pokusnog crpljenja znatno veći od samog uzorkovanja i laboratorijskog ispitivanja uzoraka zbog čega ne treba zanemariti korisnost laboratorijskih ispitivanja.

Tablica 5.1. Usporedan prikaz hidrauličkih vodljivosti određenih u zdcencima pokusnim crpljenjem i pripadnim strukturno-piezometarskim bušotinama na temelju granulometrijskog sastava naslaga

Oznaka zdenca	Hidraulička vodljivost, K (m/s)	Oznaka strukturno-piezometarske bušotine	Hidraulička vodljivost, K (m/s)
B2	$1,54 \times 10^{-2}$	S-1	$3,21 \times 10^{-1}$
B3	$7,7 \times 10^{-3}$	S-2	$2,986 \times 10^{-1}$
B4	$1,85 \times 10^{-2}$	S-7	$1,613 \times 10^{-1}$
B5	$2,91 \times 10^{-2}$	S-8	$7,23 \times 10^{-2}$

Tablica 5.2. Rasponi hidrauličkih vodljivosti za nekonsolidirane sedimente (Fetter, 2000)

NEKONSOLIDIRANI SEDIMENT	HIDRAULIČKA VODLJIVOST (cm/s)
glina	$10^{-9} - 10^{-6}$
prah, pjeskoviti prah, glinoviti pijesak, til	$10^{-6} - 10^{-4}$
prahoviti pijesak, sitnozrni pijesak	$10^{-5} - 10^{-3}$
dobro sortirani pijesak, ledenjački sediment	$10^{-3} - 10^{-1}$
dobro sortirani šljunak	$10^{-2} - 1$

6. ZAKLJUČAK

Crpilište Velika Gorica dio je zagrebačkog vodonosnika koji se nalazi u aluvijalnoj ravnici rijeke Save. Zagrebački vodonosnik je vodonosnik otvorenog tipa, što znači da mu je podina nepropusna, a gornju granicu saturacije čini vodna ploha koja je pod atmosferskim tlakom. Izgrađen je od kvartarnih sedimenata koje čine srednjo- i gornjopleistocenske te holocenske taložine – šljunci i pijesci u izmjeni s glinama i prahovima.

Obradom piezometarskih podataka napravljene su karte ekvipotencijala iz kojih se mogu iščitati smjerovi tokova. Generalni smjer toka podzemne vode je od sjeverozapada prema jugoistoku uz lokalna odstupanja koja su posljedica crpljenja vode.

Analizom granulometrijskog sastava porozne sredine uočena je promjena hidrauličke vodljivosti kroz prvi vodonosni sloj. Ove oscilacije mogu se objasniti promjenom intenziteta taloženja materijala u geološkoj prošlosti koja je posljedica izmjene glacijala i interglacijala. Sitnozrnati materijal taložen za vrijeme glacijala ima manju hidrauličku vodljivost, nego krupnozrnati sedimenti taloženi u interglacijalima.

Izradom karte izostrata podine, a dodatno i trodimenzionalnog modela, utvrđeno je da podina nije kontinuirana ploha, kao što je i pretpostavljeno, već da se radi o horizontalnoj i vertikalnoj izmjeni leća sitnozrnatog materijala (glina i prah). Ispod leća se očekuje drugi (dublji) vodonosni sloj, a upravo je izrada 3D modela pomogla u donošenju takvog zaključka.

7. LITERATURA

Bačani, A. i Šparica, M. (2001): Geology of Zagreb aquifer system. 9th International Congress of the geological society of Greece. (26. – 28. September, 2001). Proceedings, vol XXXIV, No 5, 1973 – 1979, Athens

Bačani, A. (2006): Hidrogeologija 1, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Beyer, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilung. Wasserwirtsch.-Wassertech., 14. 165–169.

EGPV – Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske (1999): Ujednačavanje baze znanja i grafičke baze za dolinski dio Save. Fond dokumentacije Hrvatskih voda

Fetter, C.W. (2000): Applied hydrogeology. 4th Edition, Prentice Hall, U.S.A

Geofizika (1982): Vodoistražni i vodozahvatni radovi, Velika Gorica, Odjel za hidrološke radove i istražno bušenje, Zagreb

Geofizika (1986): Vodoistražni i vodozahvatni radovi, Velika Gorica, Odjel za primijenjenu geofiziku, Zagreb

Hazen, A. (1863): Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration. 24th Annual report of the Massachusetts State Board of Health, 1-541, Boston.

Kennedy, H. (2009): Introduction with 3D Data Modeling with ArcGIS 3D Analyst and Google Earth

Miletić, P. i Heinrich-Miletić, M. (1981): Uvod u kvantitativnu hidrogeologiju . 1-220, Sveučilište u Zagrebu i NIŠRO Varaždin

Narodne novine (2008): Strategija upravljanja vodama, Br. 91

Posavec, K. (2006): Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb

Bačani, A. i Posavec, K. (2009): Elaborat zaštitnih zona Velika Gorica, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb

Slichter, C.S. (1899): Theoretical investigations of the motion of ground waters. 19th Annual Report, Part II. USGS, Washington, D.C.

Velić, J. i Saftić, B. (1991): Subsurface Spreading and Facies Characteristics od Middle Pleistocene Deposits between Zaprešić and Samobor, Geološki vijesnik, vol. 44, 69 – 82

Velić, J. i Durn, G. (1993): Alternating Lacustrine – Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologija Croatica, vol. 46, No.1, p. 71 – 90

Velić, J., Saftić, B. i Malvić, T. (1999): Litologic Composition and Stratigraphy of Quaternary Sediments in the Area of the “Jakuševac” Waste Depository (Zagreb, Northern Croatia), *Geologia Croatica*, vol. 52, No. 2, p. 199 – 13

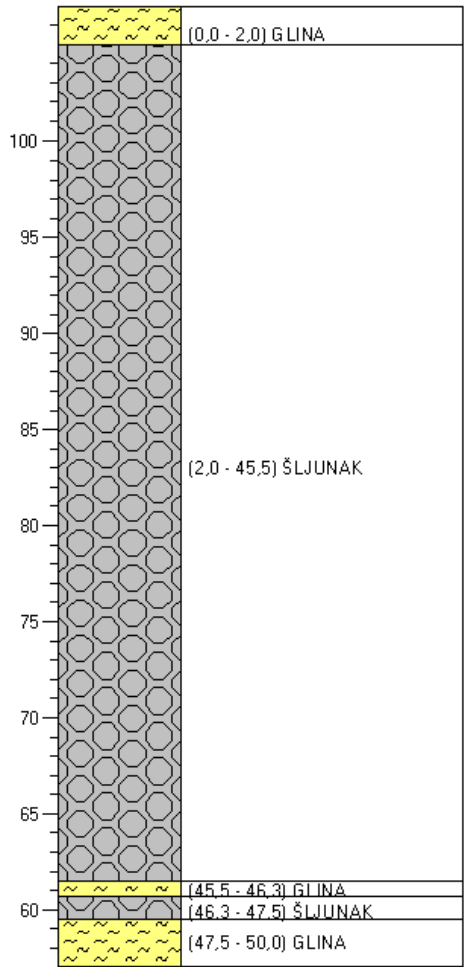
web izvori:

<<http://www.geoportal.dgu.hr/>> Pristupljeno 28. srpnja 2016.

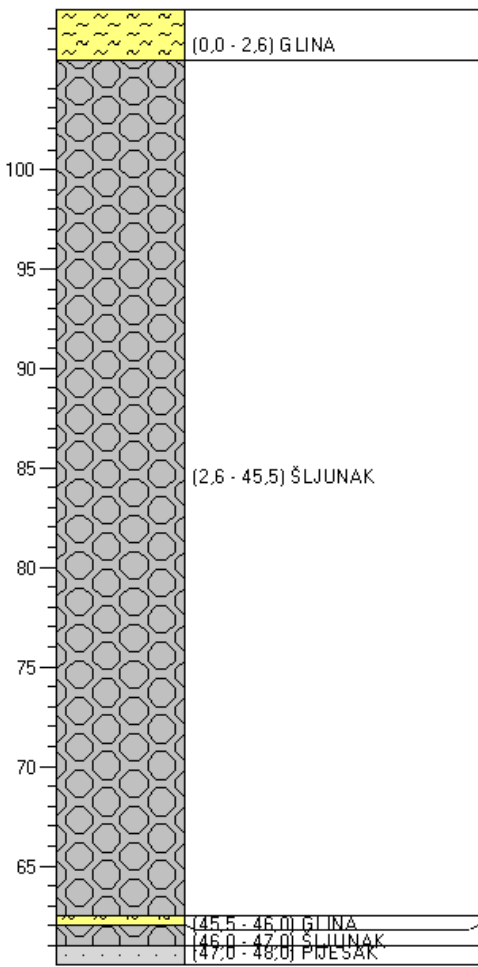
PRILOZI

Prilog 1

Šifra objekta B-2 (ZG-3-B-66)		
Dubina bušenja: 50,0 m		
X (m): 464653,050852	Kota terena: 107 m.n.m	
Y (m): 5064461,61918	Kota nule: /	
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

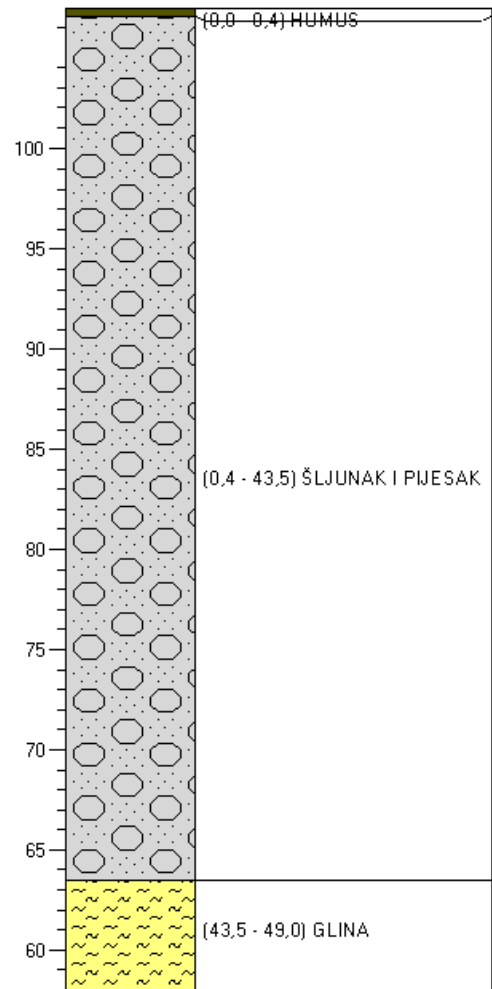


Šifra objekta B-4 (ZG-3-B-83)		
Dubina bušenja: 48,0 m		
X (m): 464275,23	Kota terena: 108 m.n.m	
Y (m): 5064868,02	Kota nule: /	
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

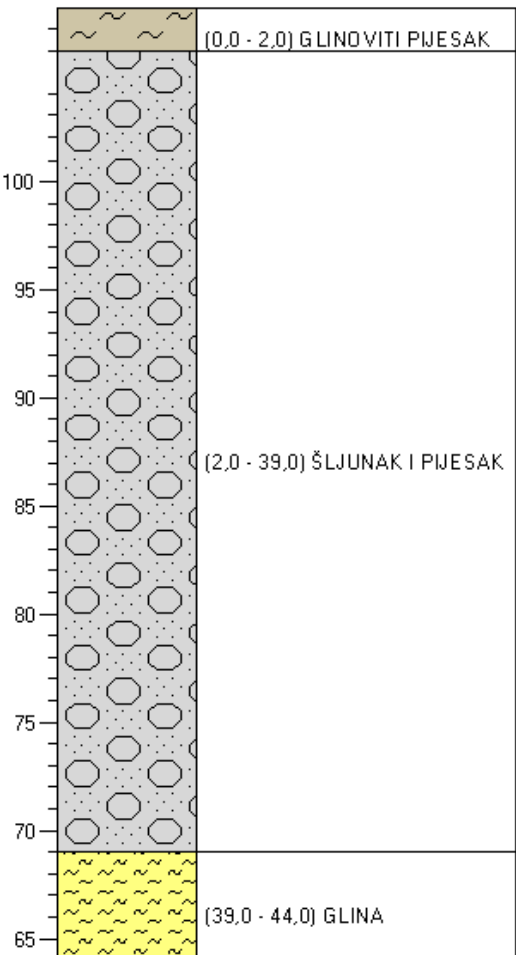


Prilog 2

Šifra objekta B-5 (ZG-3-B-84)		
Dubina bušenja: 49,0 m		
X (m): 464364,13		Kota terena: 107 m.n.m
Y (m): 5064252,07		Kota nule: /
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

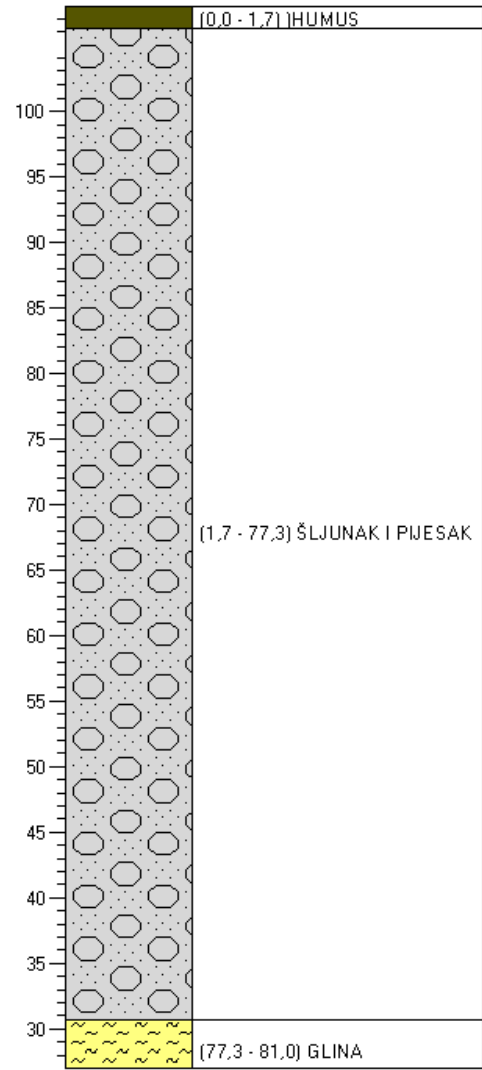


Šifra objekta ČP-2 (ZG-3-P-69)		
Dubina bušenja: 44,0 m		
X (m): 463845,65		Kota terena: 108 m.n.m
Y (m): 5065006,58		Kota nule: 108,49 m.n.m
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

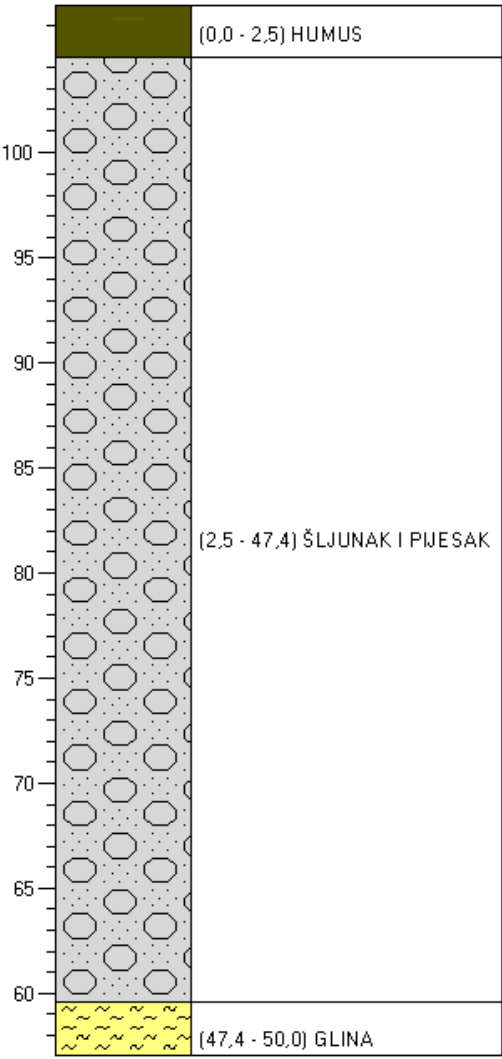


Prilog 3

Šifra objekta S-7 (ZG-3-P-53)		
Dubina bušenja: 81,0 m		
X (m): 464251,27		Kota terena: 108 m.n.m
Y (m): 5064251,39		Kota nule: 108,00 m.n.m
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

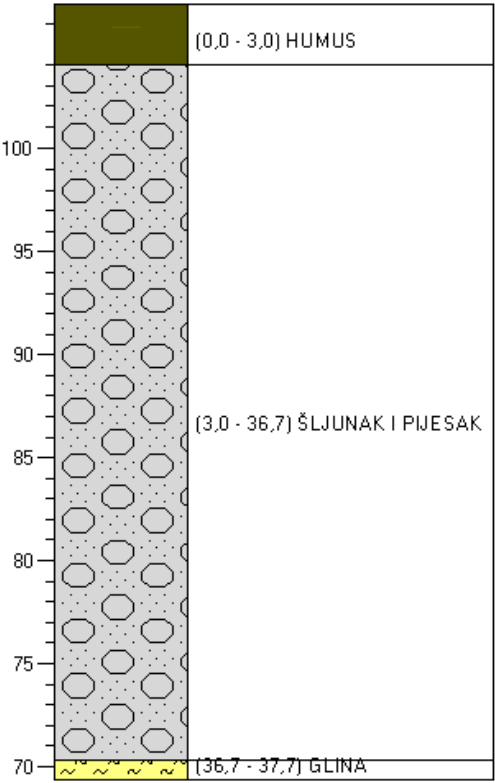


Šifra objekta S-8 (ZG-3-P-54)		
Dubina bušenja: 50,0 m		
X (m): 464314,47		Kota terena: 107 m.n.m
Y (m): 5064194,95		Kota nule: /
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

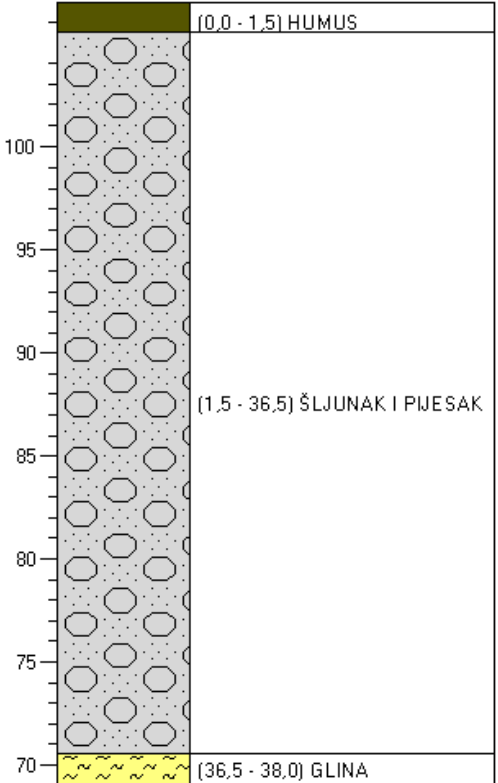


Prilog 4

Šifra objekta SP-1 (ZG-3-P-55)		
Dubina bušenja: 37,7 m		
X (m): 464577,47	Kota terena: 107 m	
Y (m): 5064393,28	Kota nule: /	
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis



Šifra objekta SP-2 (ZG-3-P-56)		
Dubina bušenja: 38,0 m		
X (m): 463999,34	Kota terena: 107 m.n.m	
Y (m): 5064402,88	Kota nule: /	
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis



Prilog 5

Šifra objekta VG-10 (ZG-3-P-131)		
Dubina bušenja: 45,0 m		
X (m): 464619,20		Kota terena: 107 m.n.m
Y (m): 5063977,17		Kota nule: 107,9 m.n.m
Dubina bušenja (m.n.m)	Litologija	Litološki opis

